

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA

MASTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍA EN LA ARQUITECTURA

LÍNEA DE ESPECIALIDAD:  
CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA - INNOVACIÓN TECNOLÓGICA



PROYECTO FIN DE MASTER

**INDUSTRIALIZACIÓN DE VIVIENDA PLURIFAMILIAR EN ALTURA, EEUU 1950-1970**

ALUMNA: INES COPF

DIRECTOR: DR. ARQ. JAUME AVELLANEDA DÍAZ-GRANDE

BARCELONA, SEPTIEMBRE DE 2011



**ÍNDICE**

Pág.

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
1.1. Antecedentes .....	4
1.2. Objetivo General .....	4
1.3. Objetivo Específico .....	4
1.4. Metodología .....	5
1.5. Resumen .....	5
<b>2. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA VIVIENDA PLURIFAMILIAR</b>	
2.1. El Sector de la Construcción en el Período de la Posguerra (1945- 1950) .....	7
2.2. Política de la Vivienda Pública- Cronología .....	8
2.3. El Proceso de la Urbanización .....	9
2.4. La Vivienda Insalubre y la Renovación Urbana .....	10
2.5. La Operación “Breakthrough” .....	13
<b>3. SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS</b>	
3.1. Teoría e Investigación en los Años ´70 .....	20
3.2. El Uso del Hormigón Prefabricado en Edificios Residenciales .....	25
3.3. La Industria del Hormigón Pretensado: Sistemas Abiertos .....	26
3.4. Sistemas a Base de paneles de Hormigón: Sistemas Cerrados .....	28
3.5. Módulos Tridimensionales .....	32
<b>4. ANÁLISIS. PREFABRICACIÓN “IN SITU”- SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS COTA CERO</b>	<b>33</b>
4.1. Sistema Constructivo “Tilt- Up” .....	34
4.1.1. Introducción al Sistema .....	34
4.1.2. El Proceso De Construcción .....	34

4.1.3. Historia de la Invención y la Evolución del Sistema “Tilt- Up” .....	37
4.1.4. Ventajas y Limitaciones .....	38
4.2. Sistema Constructivo “Lift- Slab” .....	40
4.2.1. Descripción del Método Youtz- Slick, Patente N° 2686240- “Slab Lifting Apparatus” .....	41
4.2.2. Variantes del Sistema .....	44
4.2.3. Ventajas y Limitaciones .....	45
4.2.4. Caso de Estudio 1: Huron Towers Appartments .....	46
4.2.4.1. Descripción Del Proyecto .....	46
4.2.4.2. Proceso Constructivo .....	50
4.2.4.3. Diseño de “Lift-Slab” .....	52
4.2.4.4. Operación del Izado .....	53
<b>5. ANÁLISIS. PREFABRICACIÓN “IN SITU” - TÉCNICA DE ENCOFRADO DESLIZANTE</b> .....	56
5.1. Condiciones de Aplicación .....	57
5.1.2. Tres Métodos de Construcción de Edificios en Altura Mediante la Técnica de Encofrado Deslizante .....	57
5.1.3. Ventajas y Limitaciones .....	57
5.2. Caso de Estudio 2: Edificio de Apartamentos en Bay Way, Milwaukee .....	59
5.2.1. Descripción del Proyecto .....	59
5.2.2. Método de Construcción .....	62
5.2.3. Método del Moldeo .....	63
5.2.4. Escalada de Grúas .....	63
5.3. Caso de Estudio 3: Edificio de Apartamentos 5730 Sheridan Building, Chicago .....	65
5.3.1. Descripción del Proyecto .....	65

	Pág.
5.3.2. La Construcción de las losas del Forjado .....	66
5.3.3. Ventajas del Sistema Rex- Spanall .....	68
<b>6. ANÁLISIS. CONSTRUCCIÓN CON COMPONENTES PREFABRICADOS</b>	
6.1. Caso de Estudio 4: Técnica Katselas- Ginsert, Edificio de Apartamentos en Pittsburg .....	69
6.1.1. Descripción del Sistema .....	69
6.2. Caso de Estudio 5: Dearborn Towers .....	73
6.2.1. Descripción del Proyecto .....	73
6.2.2. Elementos de Estructura .....	76
6.2.3. Acabados .....	80
<b>7. ANÁLISIS. MÓDULOS TRIDIMENSIONALES</b>	
7.1. Caso de Estudio 6: Hotel Palacio del Río, San Antonio, Texas .....	81
7.1.2. Descripción del Edificio .....	81
7.1.3. Descripción de la Estructura .....	82
7.1.4. Descripción de los Módulos .....	82
7.1.4.1. Proceso de Fabricación .....	83
7.1.4.2. Proceso de Montaje .....	83
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	85
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	89

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El Tema de este trabajo es la industrialización de la vivienda en los EEUU. Llega a cerrar un ciclo de mis inquietudes personales sobre la construcción y arquitectura de los últimos cuatro años de los estudios de postgrado y representa un inicio de la siguiente etapa académica. La elección del tema resultó como una simple y lógica equivalencia matemática: primer master: Vivienda + segundo master: construcción = doctorado: EEUU.

Hay dos imágenes que creo que representan el acto de habitar cuando pensamos en las ciudades norteamericanas del siglo XX: una es la idealizada imagen del sueño americano, la vivienda unifamiliar, y la segunda es la vista panorámica de la vida moderna en los rascacielos. ¿En que lugar de estas dos imágenes, del enorme y curioso cambio de la escala, de los bungalows a los rascacielos, se encuentra la vivienda plurifamiliar de alquiler, tan familiar para todos nosotros que hemos crecido en las ciudades europeas?

En los siguientes capítulos de este trabajo intento responder a las siguientes preguntas: ¿Como y cuando empezaron a construirse los edificios residenciales plurifamiliares en los EEUU? ¿Que factores sociales, políticos, económicos y tecnológicos han influido el desarrollo y la evolución de los sistemas industrializados? ¿Cuales son estos sistemas y cuales son sus características? ¿De estos sistemas, cuales son los que han evolucionado y siguen viables en el siglo XXI?

### 1.2. OBJETIVO GENERAL

- Estudiar los procesos y las técnicas de industrialización de edificios residenciales en altura en los Estados Unidos desde la época de la posguerra hasta el inicio de los años '70.

### 1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Debido a que he sido admitida en el programa de doctorado del departamento de ingeniería arquitectónica de la Universidad de Penn State, Pennsylvania, EEUU; con este trabajo pretendo:

- Adquirir conocimientos en los ámbitos temáticos de la historia de la construcción prefabricada e industrialización de los EEUU para obtener una primera base de formación para la siguiente etapa académica.
- Describir las técnicas constructivas que se desarrollaron y evolucionaron en una época crucial para la industrialización y la prefabricación de la construcción residencial en altura a través del análisis de ejemplos característicos.
- Analizar el impacto que han tenido los diversos métodos constructivos con respecto a la tipología de la vivienda plurifamiliar.
- Explicar porque han fracasado los métodos industrializados de construcción que no son vigentes al día de hoy y nombrar los que han evolucionado y son vigentes en la actualidad.

## 1.4. METODOLOGÍA

- La tesina se organiza en tres partes: La primera es histórica, la segunda es técnica y la tercera es más práctica donde se analizan ejemplos concretos basados en sistemas descritos.
- La metodología de este trabajo se basa en la organización e interpretación de la información adquirida de los libros de construcción, historia, revistas de arquitectura, tesis doctorales etc., para cada una de las tres partes. Los ejemplos de edificios se han elegido con criterio de sistemas constructivos previamente analizados.

## 1.5. RESUMEN

El presente documento describe los procesos y las técnicas de industrialización de la vivienda plurifamiliar en altura en los EEUU, desde la época de la primera década de la posguerra hasta el inicio de los años '70. Los límites cronológicos fueron determinados por el hecho de que durante este período se establecieron las leyes de vivienda pública plurifamiliar, como respuesta a la falta de vivienda causada tanto por los veteranos de la guerra como por la inmigración. Como consecuencia aumentó el interés en este tipo de edificios por parte de arquitectos, industria y empresas constructoras. Las décadas de los '60 y '70 se caracterizaron además por avances tecnológicos importantes en construcción con hormigón pretensado y componentes prefabricados, los cuales forman parte de los procesos de industrialización de edificios residenciales en altura.

En el segundo capítulo explico cuando y en que contexto económico, político y social aparece la vivienda plurifamiliar en altura. Se describen los procesos de urbanización caracterizados por dos movimientos opuestos: descentralización por parte de la clase económica alta; e influxo de la población agrícola del sur y un número estimado en 9 millones de inmigrantes hacia los centros urbanos. La falta de vivienda y los barrios insalubres formados por minorías étnicas presionan al gobierno a establecer leyes de vivienda protegida y tomar medidas drásticas. La iniciativa más característica es la operación "Breakthrough", iniciada por el Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano (HUD) en 1969, para mejorar el proceso de producción de vivienda para familias de bajo ingreso. Esta iniciativa impulsó la industrialización de la construcción, coordinado a los fabricantes de viviendas con promotores y urbanistas, a fin de llevar a cabo los 26 millones de viviendas anunciados en la ley de la vivienda. Se presenta una tabla con los 22 sistemas constructivos provenientes de los EEUU y países europeos, propuestos por la operación Breakthrough.

En el tercer capítulo se presenta la teoría y la investigación en los años '70 sobre los sistemas constructivos industrializados. Se presentan las visiones básicas descritas en dos sesiones especiales de verano organizadas en la universidad de M.I.T. En los años 1969 y 1970 con el tema de la industrialización de la construcción tratando como temas básicos los principios que conducen a la industrialización, los tipos de los sistemas constructivos que evolucionaron de acuerdo con estos principios, en particular en la construcción de la vivienda. Segunda parte de este capítulo trata sobre el estado del uso del hormigón prefabricado en los edificios residenciales y se presentan 2 tablas que clasifican los elementos prefabricados, 2 tablas con sistemas constructivos industrializados con hormigón prefabricado existentes en el mercado de la construcción de los EEUU; Uno describe los sistemas provenientes de los EEUU y el otro sistemas provenientes de los países europeos introducidos en el mercado de los EEUU.

El capítulo cuatro es el primer capítulo del análisis de sistemas y ejemplos de edificios residenciales. Se presentan dos métodos constructivos basados en la ejecución de edificaciones desde el nivel del terreno: "Tilt-Up" y "Lift-Slab". Se presenta el proceso constructivo para ambas técnicas y sus ventajas y limitaciones.



Para el método “Lift-Slab” se presenta además la patente de la invención del sistema y un ejemplo del edificio residencial en altura construido a través de esta técnica: Horon Towers Appartments, en Ann Arbor, Michigan. Se ilustran las plantas tipo y las plantas constructivas especificando el proceso de la construcción y el izado del edificio.

El capítulo cinco tiene como tema los edificios construidos a través de la técnica de encofrado deslizante. Siguiendo la metodología del capítulo cuatro, primero se describe el proceso constructivo del sistema con sus ventajas y limitaciones. En seguida se analizan dos casos de estudio; Edificio de Apartamentos en Bay Way, Milwaukee, y Edificio de Apartamentos 5730 Sheridan Building, Chicago, cuyas plantas tipo y estructuras ilustro. Ambos casos tienen diferencias esenciales en el uso de la técnica del encofrado deslizante y el método que se usa para construir las losas de los forjados. En el primer ejemplo solo el núcleo central se construyó con encofrado deslizante, mientras en el segundo caso de estudio se empleó dicha técnica para todos los muros exteriores, e interiores divisorios entre las viviendas y el núcleo central.

En el capítulo seis se presentan dos casos de estudio, construidos con los componentes prefabricados de hormigón pretensado: el edificio de Apartamentos en Pittsburg y las Dearborn Towers en Michigan. En el primer caso de estudio se han empleado solo dos tipos de componentes prefabricados: Los pilares y las losas de sección de canal invertido, mientras en el segundo caso de estudio se empleó la técnica de fachada resistente a través de paneles prefabricados con losa plana y pilares y muros a cortante “in situ”.

En el capítulo siete se presenta el último caso de estudio de edificio residencial en altura, el hotel Palacio del Río, en San Antonio, Texas, construido con módulos tridimensionales y el núcleo central de comunicación con encofrado deslizante.

Las conclusiones son una reinterpretación personal crítica basada en los objetivos planteados y en los datos obtenidos a partir del análisis de este trabajo. Intento observar las consecuencias de la política de la vivienda aplicada en el período estudiado, y presentar una visión sobre el presente y el posible futuro de estas técnicas constructivas del pasado.



## 2. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA VIVIENDA PLURIFAMILIAR

### 2.1. EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL PERÍODO DE LA POSTGUERRA

(1945-1950)

Durante los años de la Segunda Guerra Mundial, el proceso de la construcción se aceleró notablemente en comparación con la década anterior de los años '30. Un número importante de las nuevas empresas constructoras entró en el mundo de la construcción de golpe y se otorgaron grandes proyectos industriales. El gobierno federal contrató a los arquitectos, ingenieros y constructores para incorporarse en los proyectos al nivel público nacional. Además de la arquitectura militar, el Departamento de Guerra de los EEUU requiere alojamiento temporal para los trabajadores en sus instalaciones y plantas de defensa. En este momento es cuando se aplican técnicas eficientes de construcción, tales como los materiales prefabricados y el uso de paneles para la construcción de la vivienda de defensa. La respuesta llegó desde las fábricas que empezaron a fabricar y promover los componentes de la carpintería estandarizados, paneles de muros prefabricados, las tuberías y sistemas de celosía de madera, para reducir el tiempo del trabajo in situ y el coste de construcción.

En 1945, con el regreso de las tropas de la guerra y un aumento en todo el país de matrimonios y tasas de natalidad (baby-boom) otra vez se provocó una emergencia nacional de vivienda asequible. Además, un porcentaje grande de la población vivía en las viviendas temporales de la Segunda Guerra Mundial. Sumando a todo esto a los diez millones de veteranos de guerra que buscando una vivienda digna, muchas veces se alojaban temporalmente en las casas de los familiares, ocupando los sótanos, áticos etc. La estimada demanda para la vivienda nueva del gobierno federal es de 12,5 millones entre los años 1946 y 1956. En 1944 la Administración de Veteranos estableció una ayuda hipotecaria permitiendo a los veteranos a pedir préstamos para la cantidad entera de una vivienda, sin un pago inicial. El único inconveniente fue que solo se podía pedir préstamo para las viviendas existentes, lo que significaba en práctica que había que esperar que los constructores a construir viviendas nuevas. Con las ayudas hipotecarias de la Administración Federal de la Vivienda, la construcción de vivienda se disparó a 1.908.000 de viviendas nuevas hasta 1950

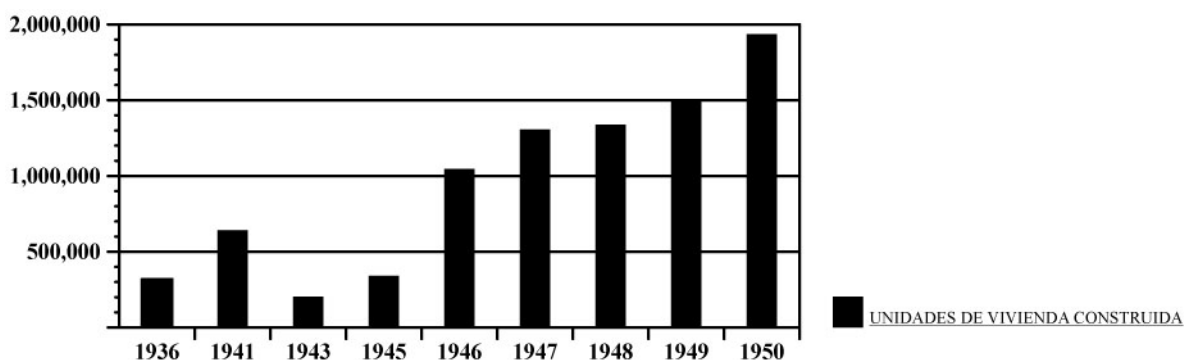


Fig. 1 La construcción de vivienda de obra nueva en los EEUU entre 1936 y 1950<sup>1</sup>

La ley Federal de la Vivienda de 1949, expandió su programa inicial incluyendo las viviendas plurifamiliares y edificios de apartamentos, a parte de los edificios aislados unifamiliares que incluía hasta el momento. Las especulaciones de los constructores condujeron a la construcción de bloques de edificios de vivienda de mala calidad y mal adaptados. Esto obligó a la Administración Federal de Vivienda a sustituir el programa existente por otro con una supervisión más estricta, lo que resultó que muchos constructores abandonaron la construcción de viviendas plurifamiliares debido a su baja rentabilidad.

<sup>1</sup> U.S. Bureau of the Census, <http://www.census.gov/>

El sueño americano de poseer una vivienda unifamiliar en los suburbios fue aún más evidente en los años de posguerra. La propaganda a parte del gobierno, la literatura popular de anuncios electrodomésticos, los constructores, los banqueros y las revistas llevaba a este único camino, negando los ejemplos negativos y fracasados de la vivienda plurifamiliar como por ejemplo el bloque de viviendas Pruitt-Igoe en St. Louis (1956).

Los edificios de apartamentos en la primera década de la postguerra eran de tamaño pequeño y medio de 5 a 49 viviendas. El coste de construcción y de mantenimiento, así como las consideraciones de seguridad, también influyeron en el diseño de los proyectos de viviendas plurifamiliar en la época de la posguerra. El hormigón se hizo ampliamente disponible y de bajo costo en los años de posguerra y por lo tanto ampliamente utilizado en proyectos de apartamentos. Como la respuesta a la falta de vivienda y necesidad de rápida reconstrucción del país con un método económico y materiales resistentes se introdujo al mercado de vivienda el método constructivo “Tilt-Up”, que es la técnica de verter el hormigón en el suelo en un molde rectangular para formar paneles estructurales, y después levantarlos por medio de una o más grúas al sitio final. A mediados de la década ‘50 Como las oportunidades de inversión en los pisos de alquiler empezaron a mejorar empezó a construirse un mayor número de edificios de vivienda en altura aunque seguía siendo más popular el tipo de construcción de tamaño medio. El estilo más popular de estos edificios plurifamiliares es “Garden Apartments” (apartamentos jardín), que son unos conjuntos residenciales compuestos por edificios de máximo de dos plantas de altura. En este trabajo no se analizarán este tipo de edificios plurifamiliares, justamente porque no son edificios en altura y sus métodos constructivos en la mayoría no se basan en técnicas industrializadas.

## 2.2. POLÍTICA DE LA VIVIENDA PÚBLICA- CRONOLOGÍA<sup>2</sup>

De los párrafos anteriores podemos concluir que los edificios de vivienda plurifamiliar están estrechamente ligados a la administración pública, así que considero importante en este trabajo incluir la evolución cronológica de la vivienda pública en los Estados Unidos desde la época de posguerra hasta los finales del siglo XX.

1934	Introducción de la vivienda pública bajo de la presidencia de Roosevelt con una ley que la división de vivienda de la administración de obra pública.
1949	la Ley Federal de la Vivienda establece el programa de la renovación urbana y proporciona dinero para 800.000 nuevas viviendas.
1960	El presidente Eisenhower proporciona presupuesto para la renovación urbana. Propone el proyecto de 500.000 de vivienda pública asistidos por el gobierno federal que se plantea ser ocupado hasta el año 1961 con otras 125.000 viviendas en construcción. En el mismo año comienza la construcción de “Taylor Homes”.
1963	En Chicago se lleva al cabo el mayor proyecto de vivienda pública: “Taylor Home” de 4.321 viviendas. Edificios en altura (High- Rise) dominan el mercado de la vivienda pública.
1965	El Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano se establece y se hace cargo de la administración de la vivienda pública.
1969	La Enmienda Brook establece un precio fijo protegido para los inquilinos de la vivienda pública expulsando así a lo trabajadores y creando la concentración de los pobres.
1974	La demolición de los 33 edificios del proyecto de vivienda pública Pruitt- Igoe en St. Louis. Resulta el fin de la construcción de los edificios de vivienda pública en altura.

<sup>2</sup> Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de los Estados Unidos, [www.hud.gov/](http://www.hud.gov/)

1981	La vivienda pública se ha convertido en la solución de último recurso para los pobres principalmente ocupada por familias con ingresos de la mitad o menos del salario básico. Alcalde de Chicago Jane Byrne se muda a un apartamento del conjunto de viviendas “Cabrini Green” anunciando que se quedaría allí hasta que la comunidad fuera salva para todos los residentes.
1986	Seis de las 28 vivienda de “Taylor Homes” anuncian que participarán en un experimento revolucionario: cada bebé nacido de una madre de la residencia tendrá derecho a la salud y beneficios educativos dentro de un programa que se llama de la cuna al jardín de infantes.
1988	Vincete Lane se nombra como el presidente de la Autoridad de Vivienda en Chicago.
1992	La Comisión Nacional de Vivienda Pública muy Deteriorada informa de que 86.000 de los pisos de vivienda pública en el país son casi inhabitables. HUD2 anuncia el nuevo programa HOPE VI diseñado para proporcionar apoyo y fondos para la demolición y reconstrucción de más de 100.000 apartamentos de vivienda pública en todo el país. El objetivo: dispersar las comunidades de alta criminalidad y ayudar a encontrar a los residentes propiedades privadas en barrios más seguros.
1995	Todos los miembros de la Agencia de Vivienda en Chicago renuncia dejando el control en manos del Gobierno Federal.

### 2.3. EL PROCESO DE LA URBANIZACIÓN

El Proceso de la rápida urbanización de los EEUU en la época entre 1940 y 1950, se basa en dos movimientos migratorios paralelos y totalmente opuestos. Por un lado la clase económicamente más poderosa y en general la clase alta de la sociedad blanca, tiene la tendencia de descentralización buscando la vida ideal promovida por la publicidad y las revistas de la época: La vida tranquila en un entorno natural y círculo familiar en las viviendas unifamiliares de las zonas rurales. La mejora de los medios de transporte (introducción del automóvil “model-T” de Ford) y la conexión de las zonas rurales con los centros urbanos por las vías de ferrocarriles y nuevas carreteras dieron un último empuje de realización de este sueño americano. Las grandes empresas de venta de vivienda de pedido por catálogo, como Aladdin y Sears entre otras, introducen cada vez más en sus catálogos tipologías de viviendas de lujo, villas y chalets, ideales y rápidas soluciones para una vida nueva en campo.



Fig. 2 “Model-T”<sup>3</sup>



Fig.3. Imagen aérea de Lewittown (nota 3)

Por otro lado Desde 1940 hasta 1950 alrededor de 21 millones de personas se trasladaron de las zonas

3 New York Times, 12 de Octubre, 2007, <http://news.blogs.nytimes.com>

rurales a los centros urbanos, especialmente en el centro y este del país con un número importante de grandes industrias donde hay mayores posibilidades de obtener trabajo. La mayoría de estos inmigrantes eran afroamericanos que abandonaron el sur, huyendo del trabajo del campo escaso y mal pagado. En este mismo período, y en los mismos centros urbanos se registro una inmigración de 9 millones de personas procedentes de diferentes países. Este fenómeno migratorio favoreció la creación de los barrios poblados con minorías raciales, los *Ghettos*.<sup>4</sup> Además es importante mencionar que la mayoría de los constructores negaban a vender las viviendas suburbanas a los negros. Un ejemplo es Lewittown, una ciudad entera de casas suburbanas de pequeña altura construida en Long Island, Nueva York, cuyos contratos en 1947 incluyen unas restricciones de que la vivienda no puede ser ocupada por cualquier otra persona que no sea miembro de raza caucásica.<sup>5</sup>

## 2.4. LAS VIVIENDAS INSALUBRES Y LA RENOVACIÓN URBANA

En 1960 en las zonas urbanas de los Estados Unidos había unos 2,3 millones de viviendas en condiciones que no cumplían los requisitos mínimos de habitabilidad. Por la misma razón en las ciudades grandes existía un número grande de las viviendas abandonadas, por ejemplo en Nueva York en la década de los '60 más de 30.000 viviendas son abandonadas cada año, en Filadelfia este número es de 20.000 viviendas.<sup>6</sup> La tendencia de la población de abandonar las viviendas insalubres no fue posible para mucha gente, por los bajos

ingresos que en promedio fue de 5000 dólares anuales para una familia de cuatro personas. Es evidente la necesidad que existía en el período de postguerra de desarrollo de las prácticas urbanas para resolver el problema de la vivienda insalubre, tanto en los centros urbanos como en las zonas rurales.

Como ya se ha mencionado, en 1949 se aprobó la ley de la vivienda y el gobierno tomó una serie de medidas para resolver la falta de la vivienda digna y proporcionar ambiente urbano adecuado para implantar estas nuevas viviendas y bienestar de los ciudadanos.

*“Por reforma de las ciudades, o renovación urbana, entendemos el conjunto de procesos de conservación y de reconstrucción de las mismas, en los que están incluidos la sustitución de los inmuebles viejos por otros más de acuerdo con las nuevas costumbres y formas de vida, la renovación y mejora de las antiguas calles y plazas, la transformación de las zonas comerciales, la reestructuración y nuevo emplazamiento de los servicios, acciones que se pueden resumir en la rehabilitación o el derribo y posterior reconstrucción de edificios urbanos, todo ello dentro de un marco legal, administrativo y financiero que haga posible tales medidas.”*<sup>7</sup>

El objetivo de este programa fue la eliminación de los barrios pobres y la creación de complejos residenciales en altura basados en los principios de mínima ocupación del terreno y proporción del máximo espacio verde. Se trató de abrir los barrios degradados mejorando las condiciones de ventilación e iluminación y reducir la densidad de sus poblaciones. La necesidad del espacio abierto en el ambiente urbano fue un argumento que se uso mucho por las autoridades y los arquitectos con el fin de construir edificios residenciales cada vez más altos. Por ejemplo en la ciudad de Nueva York la superficies construida del modelo del barrio del siglo XIX en Lower East Side de 50% se convirtió en 16% en la edificación de la vivienda pública en los medianos del siglo XX.<sup>8</sup> Así se creó una tipología nueva de edificios plurifamiliares denominada como “Tower in a Park”

4 FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 390

5 The New York Times, 1997, <http://news.blogs.nytimes.com>

6 FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 392

7 FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 393

8 <http://urbanomnibus.net/2010/08/studio-report-reimagining-towers-in-the-park/>



(torre en el parque) o “Superblocks”. La mayoría de estos complejos residenciales fueron diseñados según las ideas y métodos constructivos del movimiento moderno. Estructura con vigas y pilares de hormigón armado y cerramientos y divisiones de obra de fábrica.



Fig. 4. Vivienda pública en Nueva York, 2011<sup>9</sup>



Fig. 5. Vivienda pública en Nueva York (Nota 9)



Fig. 6. Tipología “Tower in a Park”, Baruch Houses, Nueva York



Fig. 7. Baruch Houses, Nueva York (Nota 9)



Fig. 8. Vivienda pública, Nueva York (Nota 9)



Fig. 9. Vivienda pública, Nueva York (Nota 9)

9 Fotos: Tijana Copf y Kostas Tsigaridis

Los residentes de los barrios pobres e insalubres de las ciudades norteamericanas, como ya se ha mencionado anteriormente eran las minorías étnicas, los afroamericanos y entre ellos una gran proporción de ancianos, ocupando las zonas próxima al centro de la ciudad. La demolición de estos barrios tuvo consecuencias graves para sus habitantes por la falta de la política de realojamiento inmediato. Así muchas familias se habían quedado sin alojamiento o alquilando pisos en condiciones aún peores que en los que hasta entonces vivían.

*La materialización de estos nuevos conjuntos está condicionada por disponer de grandes lotes de terreno adecuadamente urbanizado, cuya formación, a base de agregación de pequeñas parcelas, viene siendo favorecida por una serie de medidas legales.<sup>10</sup>*

El plan de la renovación urbana no funcionó tal como se esperaba. Por un lado parecía que se resolvieron los problemas de los barrios insalubres, pero por otro muchos de los “Superblocks” permanecían barrios *Ghetto*, peligrosos y degradados. Eran las favelas de las ciudades norteamericanas, protagonistas de películas de terror, centro de narcotraficantes y mafia, donde no querían vivir ni los más pobres. El resultado es que muchos de estos barrios se convirtieron en la vergüenza y el temor nacional y su derribo empezó desde los finales de los años 70 y sigue hasta el día de hoy. Una vez más la sociedad norteamericana tomó medidas drásticas y poco sostenibles, derribar barrios enteros y borrar la memoria. Los ejemplos característicos de estos complejos residenciales, fracasos de la política de la vivienda pública en los EEUU son:

Cabrini Green High-Rise	Chicago (1942- 2009)	estructura de hormigón armado y cerramientos de fachada-muros de ladrillo.
Robert Tylor Homes	Chicago (1959- 2005)	28 idénticos edificios de vivienda de 16 plantas 4400 viviendas estructura de acero cerramientos fachada de obra de fabrica. Divisiones interiores de paneles de yeso.
Stateway Gardens	Chicago (1955- 2007)	8 edificios de vivienda de 17 plantas 1644 viviendas estructura de acero cerramientos fachada de obra de fabrica. Divisiones interiores de bloques prefabricados de hormigón.
Pruitt-Igoe	St. Louis (1956- 1977)	33 edificios de vivienda de 11 plantas estructura de hormigón armado y cerramientos de fachada-muros de ladrillo.



Fig. 10. La fotografías de la secuencia del derribo de Pruitt- Igoe

10 FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 395

## 2.5. LA OPERACIÓN BREAKTHROUGH

La operación Breakthrough fue un programa gubernamental iniciado por el Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano (HUD) en 1969 para mejorar el proceso de producción de vivienda para familias de bajo ingreso. Impulsó la industrialización de la construcción, coordinado a los fabricantes de viviendas con promotores y urbanistas, a fin de llevar a cabo los 26 millones de viviendas anunciados en la ley de la vivienda de 1968 como necesarios para los siguientes 10 años.<sup>11</sup> Esta operación trató resolver cuestiones fundamentales de la construcción de la vivienda, como la creación de la industria capaz de la fabricación de vivienda en gran escala y la creación de mercados correspondientes. Se consideró como el paso más importante en el camino de la industrialización de la construcción. Además de resolver el problema de la falta de vivienda, este programa pretendía:

- Demostrar el valor de las técnicas de construcción residencial industrializada.
- Eliminar o reducir las barreras entre la industria y la construcción residencial.

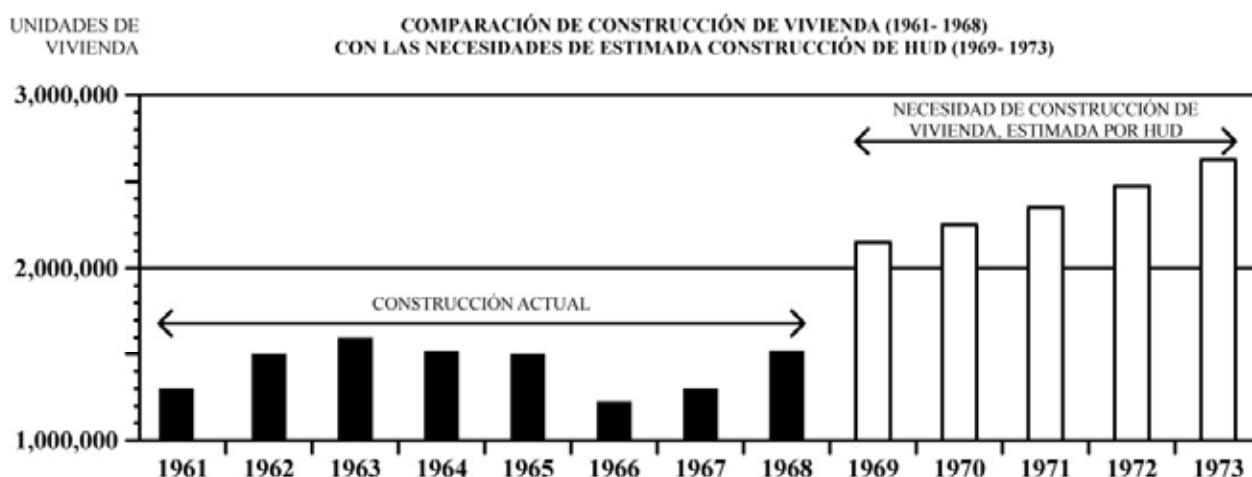


Fig. 11. Gráfico del Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano (HUD) para la estimada construcción residencial necesaria de 1968- 1973 (Nota 11)

La tarea más crítica de la operación, a parte de desarrollo de métodos y técnicas de construcción industriales, estaba en el logro de un mercado continuo y seguro, a través de las normas y leyes de vivienda que facilitaran el agrupamiento de los mercados pequeños de los EEUU, gracias a nuevos métodos de financiación de la vivienda. Por la parte del ministerio se hizo una investigación de sobre la elección de las empresas y métodos constructivos más económicos. Finalmente se eligieron 22 sistemas constructivos y se seleccionaron 218 posibles lugares distribuidos por todo el territorio norteamericano, una serie de 11 emplazamientos para la

construcción de los prototipos en un programa global de 2.800 viviendas.<sup>12</sup>

El programa finalmente no logró sus objetivos, tal como se reporta en el documento gubernamental (nota 11), por las siguientes razones:

11 <http://archive.gao.gov/f0902a/100544.pdf>

12 FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 397



- Inesperada bajada que ha ocurrido en el mercado de la vivienda.
- Los programas gubernamentales de financiación de viviendas se suspendieron.
- Algunos sistemas constructivos presentados, resultaron más costosos de lo esperado.

Las conclusiones del gobierno para que un programa así pudiese funcionar en el futuro se resumen en: la necesidad de trabajo preliminar para el desarrollo de criterios de diseño, evaluación de los enfoques propuestos, análisis del mercado, desarrollo de estrategias viables para superar los problemas de la comercialización, investigación para resolver problemas técnicos, planificación de la evaluación del programa.

Aunque la operación Breakthrough no demostró el potencial de la venta de la mayoría de los métodos constructivos presentados para la vivienda protegida, se lograron cambios importantes en la industria de la vivienda mediante la exposición de los constructores de nuevos métodos y materiales constructivos explorando la evaluación de la construcción residencial fomentando cambios en la normativa de construcción (Nota 12).

En las siguientes tablas se presentan los 22 sistemas constructivos promovidos por la Operación Breakthrough.<sup>13</sup> De estos, los 7 tienen como material predominante el hormigón de los cuales solo uno tiene el país del origen los EEUU. Cinco son basados a sistemas constructivos con entramado de madera, 2 con plástico y los ocho restantes son sistemas constructivos son de estructura de acero y paneles de madera o aluminio.

Nombre de sistema	ALCOA BUILDING SYSTEM
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Acero, aluminio y madera
Pedido rentable mínimo	100 viviendas
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares aisladas o unidas. Edificios multifamiliares de pequeña altura
Fabricación	Fabricas fijas
Transporte de los componentes	Por carretera: grandes “trailers” para los módulos y camiones para los paneles
Sistema estructural	Paneles portantes con entramado de madera o aluminio combinados con células tridimensionales con entramado de acero que contenían servicios
Instalaciones incorporadas	Eléctricas fontanería calefacción cocina y cuarto de baño contenidos en módulos de servicios
Localización de prototipos	Macon Georgia Sacramento California King Country Washington
Nombre de sistema	BOISE CASCADE HOUSING DEVELOPMENT
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Madera y acero
Pedido rentable mínimo	50 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares aisladas o unidas. Edificios multifamiliares de pequeña altura
Fabricación	Fabricas fijas
Transporte de los componentes	Por carretera o ferrocarril
Sistema estructural	Unidades tridimensionales con entramado de madera o acero
Instalaciones incorporadas	Eléctricas fontanería calefacción cocina y cuarto de baño
Localización de prototipos	Macon Ga Memphis Tennessee Sacramento

<sup>13</sup> FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 397- 404

## 2. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA VIVIENDA PLURIFAMILIAR

Nombre de sistema	BUILDING SYSTEM INTERNATIONAL
País de origen	Francia (Balency)
Materiales predominantes	Hormigón
Pedido rentable mínimo	100 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares aisladas o unidas. Edificios multifamiliares de pequeña mediana y gran altura
Fabricación	Fabrica fijas
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Paneles portantes y placas de forjado
Instalaciones incorporadas	Eléctricas fontanería calefacción ventilación aire acondicionado
Localización de prototipos	Macon
Nombre de sistema	CAMCI
País de origen	Francia (Tracoba)
Materiales predominantes	Hormigón
Pedido rentable mínimo	500 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares apartamentos-jardín y edificios de apartamentos de mediana altura (4 a 10 plantas)
Fabricación	Fabricas fijas
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Paneles portantes de hormigón armado
Instalaciones incorporadas	Eléctricas fontanería calefacción ventilación aire acondicionado
Localización de prototipos	Jersey City New Jersey
Nombre de sistema	CRISTIANA WESTERN STRUCTURES
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Madera
Pedido rentable mínimo	50 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares apartamentos-jardín de dos plantas
Fabricación	Paneles: en fábrica
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Paneles portantes con entramado de madera
Instalaciones incorporadas	Eléctricas fontanería
Localización de prototipos	Sacramento Ca King Country Washington Macon Ga
Nombre de sistema	DESCON- CONCORDIA
País de origen	Canadá
Materiales predominantes	Hormigón armado
Pedido rentable mínimo	500 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y edificios de apartamentos de mediana y gran altura
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Paneles portantes y de forjado
Instalaciones incorporadas	Eléctricas
Localización de prototipos	St. Lois Missouri
Nombre de sistema	F.C.E.- DILLON
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Hormigón y madera
Pedido rentable mínimo	100 u.v.
Tipos de edificios	Unifamiliares y de apartamentos
Fabricación	En Fábrica e “insitu”
Transporte de los componentes	Por carretera

## 2. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA VIVIENDA PLURIFAMILIAR

Sistema estructural	Paneles prefabricados de hormigón en forjados y cerramientos asociados a construcción monolítica mediante encofrados túnel. Divisiones mediante paneles de madera.
Instalaciones incorporadas	Eléctricas saneamientos
Localización de prototipos	Indianápolis Sacramento Kalamazoo
Nombre de sistema	GENERAL ELECTRIC COMPANY
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Acero madera
Pedido rentable mínimo	100 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y apartamentos de pequeña altura
Fabricación	Fabricas fijas
Transporte de los componentes	
Sistema estructural	Módulos tridimensionales con entramado de acero
Instalaciones incorporadas	Todas las mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	Memphis
Nombre de sistema	HERCULES
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Madera
Pedido rentable mínimo	
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	En camiones
Sistema estructural	Módulos tridimensionales con entramado de madera
Instalaciones incorporadas	Todas las mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	Macon Kalamazoo
Nombre de sistema	HOME BUILDING CORPORATION
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Madera
Pedido rentable mínimo	1 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y multifamiliares de baja altura
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Módulos de madera
Instalaciones incorporadas	Mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	St. Louis
Nombre de sistema	LEVITT TECHNOLOGY CORPORATION
País de origen	USA
Materiales predominantes	Madera
Pedido rentable mínimo	50 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y apartamentos de pequeña altura
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Carretera ferrocarril
Sistema estructural	Módulos de madera
Instalaciones incorporadas	mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	King Country Kalamazoo
Nombre de sistema	MATERIAL SYSTEMS
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Plástico
Pedido rentable mínimo	100 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y apartamentos-jardín
Fabricación	Fabrica fija

## 2. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA VIVIENDA PLURIFAMILIAR

Transporte de los componentes	
Sistema estructural	Paneles portantes compuestos por plásticos reforzados con fibra de vidrio y otras fibras orgánicas e inorgánicas que forman módulos tridimensionales en la misma fábrica
Instalaciones incorporadas	Mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	Indianápolis Macón Kalamazoo sacramento y St. Louis
Nombre de sistema	NATIONAL HOMES
Pais de origen	USA
Materiales predominantes	Acero y madera
Pedido rentable mínimo	50 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y multifamiliares de pequeña altura
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Módulos con entramado de madera
Instalaciones incorporadas	Todas las mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	Indianápolis Kalamazoo
Nombre de sistema	PANTEK
Pais de origen	EEUU
Materiales predominantes	Aluminio madera y espumas plásticas
Pedido rentable mínimo	
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y apartamentos de pequeña altura
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	paneles con entramado de aluminio revestimientos de madera y rellenos de espuma plástica
Instalaciones incorporadas	Módulos con instalaciones mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	Indianápolis Sacramento
Nombre de sistema	PEMTOM
Pais de origen	EEUU
Materiales predominantes	Madera
Pedido rentable mínimo	100 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y de apartamentos. En caso de grandes altura se emplea una estructura suplementaria
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Módulos formados por paneles de madera con revestimiento resistente
Instalaciones incorporadas	Bloque técnico con instalaciones mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	Indianápolis
Nombre de sistema	REPUBLIC STEEL
Pais de origen	EEUU
Materiales predominantes	Acero
Pedido rentable mínimo	1 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Paneles con entramado de acero
Instalaciones incorporadas	Módulos con instalaciones mecánicas y de saneamiento
Localización de prototipos	Kalamazoo
Nombre de sistema	ROUSE-WATES
Pais de origen	Inglatera
Materiales predominantes	Hormigón armado

## 2. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA VIVIENDA PLURIFAMILIAR

Pedido rentable mínimo	300-500 u.v.
Tipos de edificios	Apartamentos
Fabricación	Fabrica móvil
Transporte de los componentes	
Sistema estructural	Paneles portantes y placas de forjado
Instalaciones incorporadas	Electricidad fontanería y calefacción
Localización de prototipos	Memphis
Nombre de sistema	SCHOLZ HOMES
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Madera
Pedido rentable mínimo	100 u.v.
Tipos de edificios	Viviendas unifamiliares y multifamiliares de pequeña altura
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Células tridimensionales con entramado de madera
Instalaciones incorporadas	Todas las mecánicas y de saneamiento así como los acabados interiores y exteriores
Localización de prototipos	Indianápolis Kalamazoo
Nombre de sistema	SHELLEY
País de origen	Puerto Rico
Materiales predominantes	Hormigón
Pedido rentable mínimo	300 u.v.
Tipos de edificios	Unifamiliares y edificios de viviendas de media y gran altura
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera barco
Sistema estructural	Módulos tridimensionales de hormigón armado colocados alternadamente como en un damero. Las paredes solo actúan como cerramiento teniendo columnas incorporadas que constituyen la estructura.
Instalaciones incorporadas	Mecánicas y sanitarias
Localización de prototipos	Jersey City
Nombre de sistema	STIRLING HOMEX
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Acero
Pedido rentable mínimo	50 u.v.
Tipos de edificios	Bloques de apartamentos
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Carretera ferrocarril
Sistema estructural	Módulos tridimensionales con entramado metálico construyéndose los edificios por el procedimiento "lift-slab"
Instalaciones incorporadas	Mecánicas sanitarias y acabados
Localización de prototipos	Memphis
Nombre de sistema	TOWNLAND
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Hormigón pretensado (Superestructura) Acero (Viviendas)
Pedido rentable mínimo	100 u.v.
Tipos de edificios	Bloques de apartamentos de hasta 15 plantas
Fabricación	Fabrica fija
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Macro esqueleto estructural a base de grandes elementos prefabricados en hormigón pretensado en el que incluyen de dos a tres plantas de viviendas formadas mediante paneles metálicos y bloques técnicos por altura superestructura

## 2. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA VIVIENDA PLURIFAMILIAR

Instalaciones incorporadas	Mecánicas y saneamiento en células tridimensionales
Localización de prototipos	Seattle
Nombre de sistema	TRW
País de origen	EEUU
Materiales predominantes	Plástico reforzado con fibra de vidrio
Pedido rentable mínimo	150 u.v.
Tipos de edificios	viviendas unifamiliares tipo Chalet
Fabricación	Fabrica móvil
Transporte de los componentes	Por carretera
Sistema estructural	Módulos tridimensionales formados a base de paneles sandwich
Instalaciones incorporadas	Bloques técnicos
Localización de prototipos	Sacramento

### 3. SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS

#### 3.1. TEORÍA E INVESTIGACIÓN EN LOS AÑOS ´70

Como ya lo hemos visto en el capítulo anterior la construcción de la vivienda plurifamiliar en altura se disparó en las décadas de los años ´60 y ´70. Sin embargo existía una problemática constante relacionada con la construcción industrializada de estos edificios. Ya que el programa de la renovación urbana no fue capaz de responder a la aumentada necesidad de la vivienda se creó en los años ´70 un diálogo entre los académicos, los arquitectos y la industria con el fin de definir el carácter de la industrialización y el mercado de los edificios residenciales en altura.

Dos especiales sesiones de verano (Special Summer Sessions) se organizaron en la universidad de M.I.T. En Boston con el tema de la industrialización de la construcción. Estas sesiones estaban destinadas principalmente a los arquitectos, ingenieros y constructores, así como a los profesores de arquitectura e ingeniería. La primera sesión, con el título: “Industrialized Buildings” (Los edificios Industrializados) tomó lugar de 18 hasta 29 de agosto de 1969, tratando como temas básicos los principios que conducen a la industrialización, los tipos de los sistemas constructivos que evolucionan de acuerdo con estos principios, en particular en la construcción de la vivienda. La segunda sesión, con el título: “Systems Building and Industrialization for New Communities” (Sistemas Constructivos e Industrialización para las Nuevas Comunidades), tomó lugar de 16 hasta 20 de junio de 1970. En esta sesión, aparte de la tecnología se examinó la morfología de sistemas y la urbanización. En estas dos sesiones se examinaron los requisitos del desarrollo urbano, los principios del diseño, estándares del rendimiento, el efecto de los códigos y las normativas de la construcción, el volumen de producción, los problemas de la introducción y la evaluación de la innovación, la política gubernamental, mano de obra, módulos de construcción y la organización necesaria para la producción. Ejemplos de sistemas industrializados estaban descritos e ilustrados por los participantes familiarizados con las prácticas norteamericanas y europeas.

Considero útil e imprescindible para el desarrollo de este trabajo presentar unas visiones básicas descritas en estas dos sesiones. En la introducción del libro “Industrialized Building Systems for Housing”, que resume estas dos sesiones especiales de verano sobre la industrialización, Albert G. H. Dietz, profesor de la ingeniería de la construcción en el departamento de arquitectura de M.I.T. define el término de la construcción industrializada y su clasificación:

*“Los sistemas de construcción industrializados, pueden ser definidos como aquellos que incorporan una integración total de todos los subsistemas y componentes en un proceso global: una utilización completa de la producción industrializada, el transporte y técnicas de ensamblaje. Esta integración se consigue a través de la explotación de los fundamentales principios de la organización.”*<sup>14</sup>

En seguida clasifica los sistemas industrializados residenciales en una variedad de formas de los cuales los siguientes son las categorías principales:

##### 1. Unidades monolíticas: cajas

Generalmente producidos en fábrica y preensamblados elementos volumétricos con alto grado de acabado y mínimo tiempo de construcción en sitio. Estos se dividen en dos subcategorías a base del grado de su autosuficiencia:

A. Unidades ligeras o tipos de casas móviles. Unidades de vivienda completamente autosuficientes que pueden conservar su característica de movilidad o estar permanentemente instalados y agrupados o apilados con una estructura adicional de soporte.

B. Componentes volumétricos pesados. Volúmenes de tamaño de una habitación (o más pequeños) de hormigón, paneles tipo sandwich de acero, madera o plástico reforzado con fibras, que pueden ser agrupados

<sup>14</sup> DIETZ, Albert G.H. Industrialized Building Systems for Housing , Cambridge (Massachusetts) : The MIT Press, 1971, Pag. 2



horizontalmente o apilados verticalmente (en el caso si son portantes) con conexiones y anclajes en seco para formar desde viviendas unifamiliares hasta viviendas plurifamiliares. En algunos casos estos volúmenes se pueden incorporar en la estructura convencional para producir edificios en altura. En el caso de los volúmenes apilados a menudo se evita la necesidad de producir las 6 caras del volumen, empleando el método de muros o forjados compartidos. Las restricciones de los volúmenes tridimensionales se basan en las limitaciones de las dimensiones por el transporte y el elevado coste de manejo. Se consideran sistemas industrializados cerrados porque no es posible moldear los volúmenes en muchos diferentes modos. Con el uso de los volúmenes tridimensionales el diseño del espacio urbano se limita.

#### 2. Sistemas totales: Sistemas panelizados

Usualmente son paneles de grandes tamaños, como losas y otras unidades panelizadas que no están formando una caja, pero a menudo son suficiente grandes para constituir paredes enteras, particiones y forjados, que cuando se ensamblan forman cajas. Se fabrican en la fábrica y se ensamblan en el sitio. En algunos casos se pueden utilizar en una construcción los componentes de diferentes fabricantes, si los componentes son “abiertos” que significa que proporcionan la opción de la coordinación modular para los subsistemas. En el mercado existe una gran variedad de materiales de los paneles pesados de hormigón o paneles ligeros tipo sandwich.

Los sistemas panelizados se dividen en dos subcategorías que son:

A. La producción abierta. Los tamaños de los moldes y las incorporaciones están modificados para las especificaciones para proyectos de alrededor de 300 viviendas o más. Un ejemplo típico sería un panel de hormigón que tiene la capacidad de incorporación de cualquier tipo de acabado. Los paneles normalmente son de tamaño de una habitación o más pequeños, semipesados moldeados en el sitio o en la fabrica.

B. La producción cerrada. Los componentes producidos son normalmente paneles portantes y relativamente ligeros. El sistema se basa en un número pequeño de componentes estandarizados. Normalmente existe un número limitado de los componentes. Así que como la consecuencia el diseño arquitectónico esta limitado. Generalmente para justificar el uso del sistema panelizado es se requiere un mercado de vivienda muy grande (alrededor de 1000 viviendas por proyecto).

#### 3. Sistemas estructurales con esqueleto.

Los pórticos en general constituyen la parte de la estructura, como las vigas y los pilares, fabricados en fábrica pero ensamblados “*in situ*”. La estructura actúa como el soporte donde luego se colocan las particiones, suelos, falsos techos etc. Estos elementos también se fabrican en la fábrica y se ensamblan “*in situ*”. El transporte en este caso es fácil y económico porque los componentes son relativamente pequeños y ligeros, y porque las fábricas centrales pueden suministrar grandes áreas de mercado. Sin embargo el número aumentado de las piezas de conexiones y materiales de una manera complican el proceso total y aumentan los costes .

#### 4. Técnicas especiales de construcción.

Con este termino se expresa la aplicación de la maquinaria y tecnología en el procedimiento de la artesanía tradicional. La mayoría de estas técnicas se caracterizan por la construcción insitu usando máquinas especiales y usualmente se construyen de hormigón. Ejemplos de técnicas especiales de construcción son:

- “Lift- Slab”, Losas levadizas.
- “Slip-Form”, Encofrado deslizante.
- Encofrado Tunel.

### 5. Componentes

La producción industrializada de materiales y componentes no es sino la racionalización y la aplicación de la coordinación modular y las técnicas de líneas de montaje a las tecnologías tradicionales de artesanía (ventanas, pavimentos, paneles etc). Una coordinación así es aplicable a la agrupación de las unidades previamente producidas y distribuidas por separado, con la mayor parte de la producción realizada en la fábrica. Normalmente esta producción esta acompañada con el uso de nuevos materiales.

### 6. Unidades Mecánicas.

El término “mecánico” se refiere a la electricidad, aire acondicionado, tubería etc. Pueden ser ensamblados “*in situ*” en la manera tradicional o pueden ser parcialmente prefabricados y ensamblados en la obra. El grado de la prefabricación de los componentes eléctricos varía y se puede llegar de tener módulos enteros de instalaciones y sanitarios prefabricados.

### 7. Las especificaciones del rendimiento

Ordenan la compatibilidad de los subsistemas, para proporcionar un mercado suficientemente amplio para garantizar al fabricante un mercado abierto. Absolutamente flexible, los estándares del diseño regulan la compatibilidad en la manera que un fabricante sea capaz de unirse con otros y ofrecer productos competitivos de alta calidad y diseño integral.

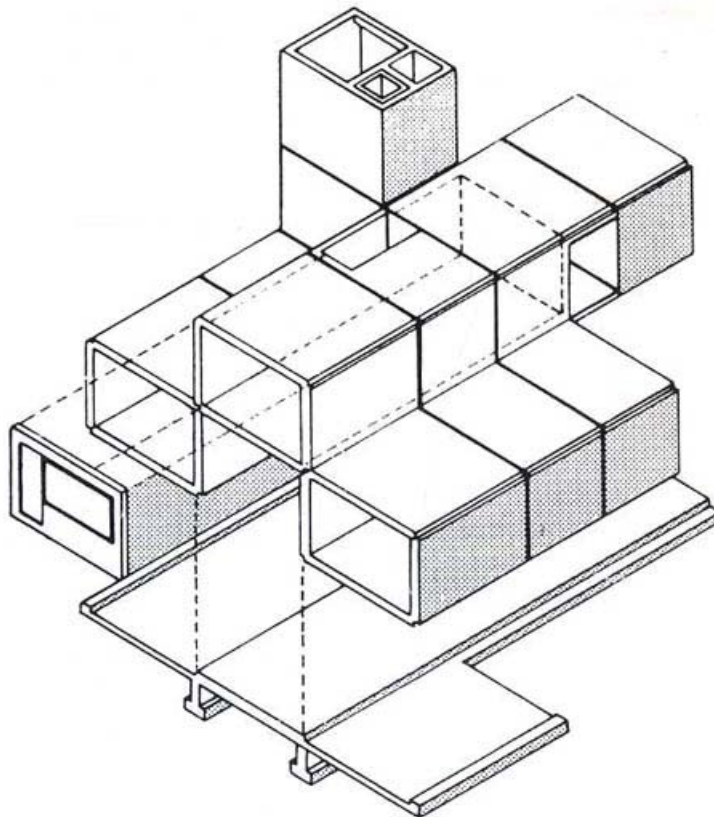


Fig. 12. Unidades monolíticas: cajas<sup>15</sup>

<sup>15</sup> DIETZ, Albert G.H. Industrialized Building Systems for Housing , Cambridge (Massachusetts) : The MIT Press, 1971, Pag. 4

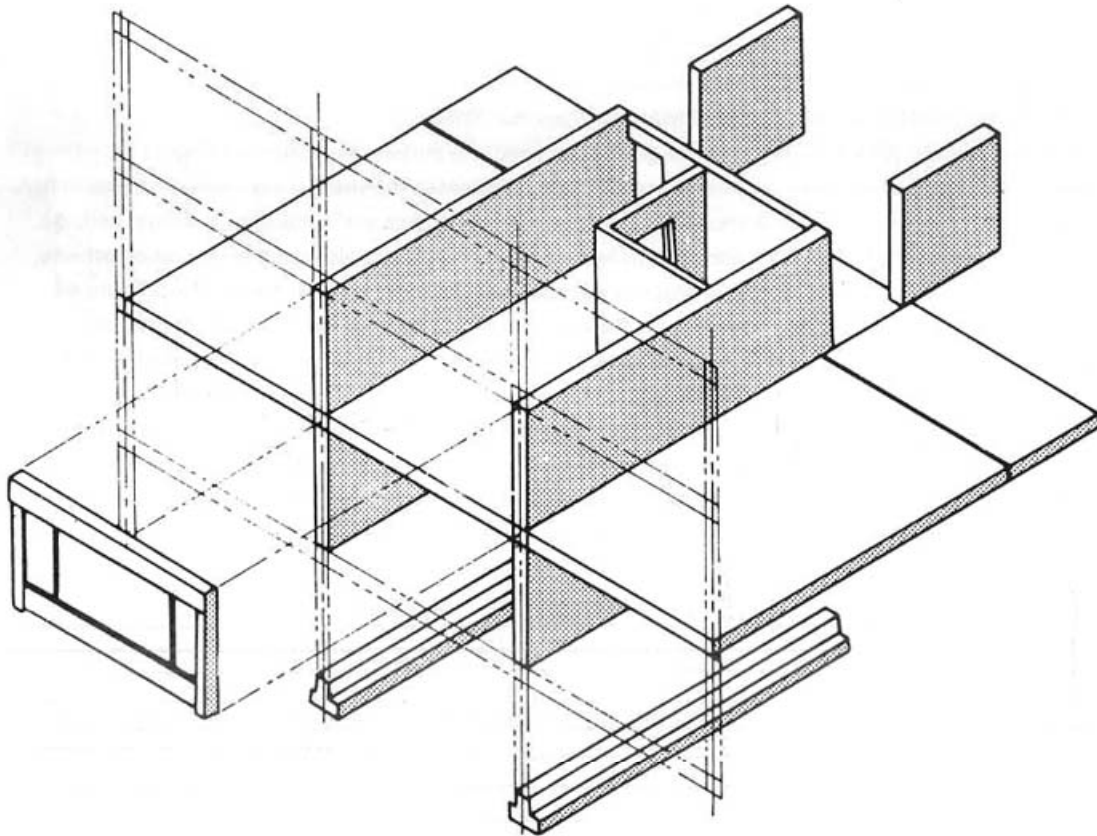


Fig. 13. Sistema panelizado (Nota 15)

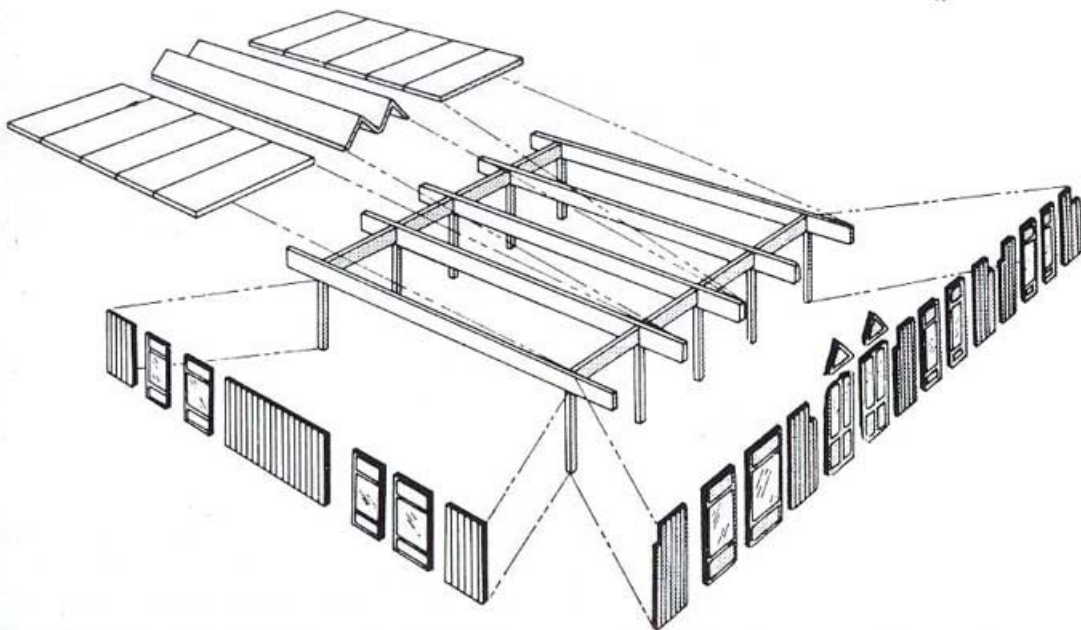


Fig.14. Sistema estructural con esqueleto<sup>16</sup>

16 DIETZ, Albertt G.H. Industrialized Building Systems for Housing , Cambridge (Massachusetts) : The MIT Press, 1971, Pag. 5

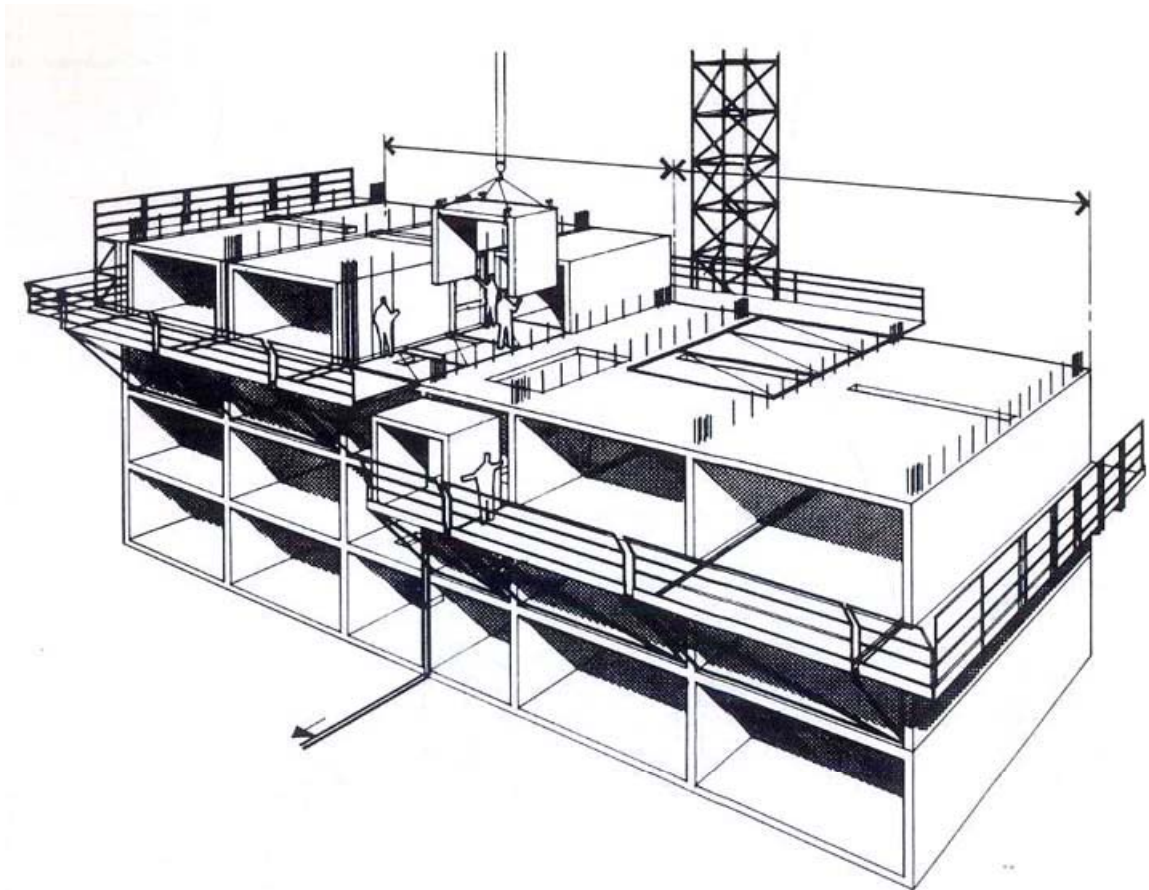


Fig. 15. Técnicas especiales de construcción. Ilustra el "edificios que se construye solo". Con la técnica de encofrado Tunnel<sup>17</sup>

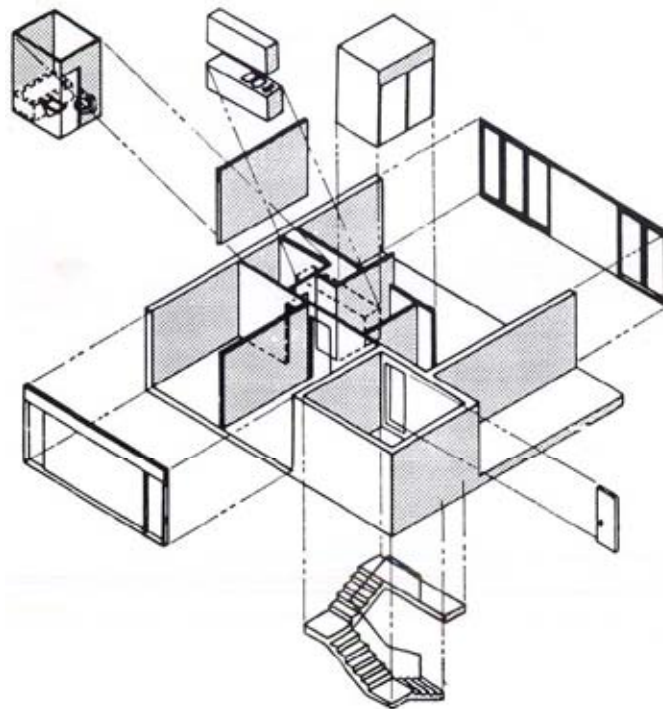


Fig. 16. Componentes. La integración total de componentes de diferentes fabricantes que se pueden combinar.<sup>18</sup>

17 DIETZ, Albertt G.H. Industrialized Building Systems for Housing , Cambridge (Massachusetts) : The MIT Press, 1971, Pag. 6  
18 DIETZ, Albertt G.H. Industrialized Building Systems for Housing , Cambridge (Massachusetts) : The MIT Press, 1971, Pag. 8



### 3.2. EL USO DEL HORMIGÓN PREFABRICADO EN EDIFICIOS RESIDENCIALES

En 1958 en los EEUU se introdujo un nuevo método de paneles prefabricados de hormigón denominado como Schokbeton. La maquinaria usada en este método fue patentada en Holanda en 1932. El proceso es principalmente un medio de consolidar la mezcla de hormigón a través de las pruebas de asentamiento, levantando y dejando a caer la forma de 5 / 16 pulgadas a 250 veces por minuto. Esto contrasta con los métodos convencionales de la consolidación con vibraciones de alta frecuencia y de baja amplitud.<sup>19</sup> Esto principalmente se aplicó para la producción de paneles prefabricados de grandes tamaños. Dependiendo del contenido de cemento, la técnica impactante produce resistencia a la compresión de 3000 hasta 4000 psi a las 24 horas y hasta 10.000 psi a 28 días. El uso de los elementos prefabricados de hormigón en arquitectura inicialmente era un proceso complicado por la falta de las grúas móviles y otras herramientas eficientes de manejo del material. Debido a esta falta tecnológica y la competencia de construcción de estructuras metálicas y muros de cortina, el desarrollo de la construcción con elementos de hormigón prefabricado era relativamente lento. En la década de los sesenta con las mejoras en los métodos de la producción, montaje y manejo de equipos y la aceptación general del mercado de que los paneles prefabricados fueron capaces de proporcionar una variedad de texturas, patrones y diseños exteriores y que por lo general se podrían lograr de manera más económica que con otros materiales, finalmente se hizo posible su dominio en el mercado de la construcción.

Morris A. E. J. en su libro “Precast Concrete in Architecture” afirma que los métodos de la construcción prefabricada de hormigón, tanto como las técnicas de pretensado y postensado en la década de los años '60 en los EEUU fueron más avanzados que en Inglaterra.<sup>20</sup> En particular por la disponibilidad de aprovechamiento del potencial estructural del material, como de muros portantes y fachadas resistentes. Morris concluye que los avances tecnológicos más importantes tuvieron lugar durante la década de los '60, Y que la década de los '70 es el período de la consolidación para el hormigón prefabricado en arquitectura, como una reflexión de la extensa y precisa difusión de la información de los aspectos tecnológicos y sistemas constructivos. Además de empezar de ser aceptado como un material de construcción adecuado durante las décadas de los '60 Y '70, en el mercado de la construcción en los EEUU hubo una escasez importante de acero debido a la guerra de Vietnam, así que resultó un aumento de coste de construcción de edificios de estructura metálica. Este hecho resultó que el hormigón como el material de la construcción en masa fuese utilizado ampliamente especialmente en las construcciones de edificios residenciales públicos. Sin embargo no supone que lo mismo había pasado con los sistemas constructivos prefabricados de hormigón. Estos sistemas aún resultaban caros por la necesidad de mano de obra cualificada y la dependencia de la tecnología, las máquinas y el trabajo en la fábrica previo del proceso de la construcción. Así que estos sistemas se usaron en la mayoría de los casos para las obras grandes y edificios más prestigiosos como hoteles, bancos, universidades, centros de investigación etc.

Sin embargo durante estas dos décadas de los años '60 y '70 Hay un número importante de edificios residenciales en altura que se construyeron con sistemas industrializados, parcialmente o en total prefabricados insitu o en la fábrica. Estos edificios publicados en las revistas como “Architectural Record”, fueron ejemplos de arquitectura contemporánea y la evolución tecnológica de su época. Unos de estos edificios ejemplares son los que se van a presentar y describir en los siguientes capítulos de este trabajo.

19 Allan R. Kenney, P.E., Sidney Freedman, Architectural Concrete, Pg. 4 [http://ardiansyahnegara.files.wordpress.com/2010/01/ch30\\_architectural-concrete.pdf](http://ardiansyahnegara.files.wordpress.com/2010/01/ch30_architectural-concrete.pdf)

20 MORRIS, A. E. J., Precast Concrete in Architecture, New York : Watson-Guptill, 1978, Pg. 154

### 3.3. LA INDUSTRIA DEL HORMIGÓN PRETENSADO: SISTEMAS ABIERTOS

Los componentes de hormigón pretensado eran extensamente usados en la construcción por la posibilidad de producir una variedad grande de componentes estructurales de luces considerablemente grandes con unas secciones relativamente pequeñas. Por ejemplo las vigas de secciones de 6X8 pulgadas (15X 20 cm) tienen la capacidad de cubrir una luz de 20 a 30 pies (6 a 9,1 m).<sup>21</sup> A partir de los años '60 y '70 su uso se aplicó en gran mayoría de las construcciones en las zonas de huracanes y tornados. Otra razón que favorecía su aplicación era el coste relativamente bajo y la gran resistencia al fuego en comparación con las estructuras metálicas y de madera. Los componentes prefabricados de hormigón pretensado en la mayoría de los casos se han aplicado a los edificios en altura. Las técnicas especiales de incluir acabados con ornamentos en los elementos prefabricados, han hecho que el sistema sea más fácilmente aceptado en el mercado.

En la década de los '70 En los EEUU existían unas 350 empresas dedicadas a la fabricación de elementos de hormigón pretensado en unas 450 instalaciones permanentes, la mayor parte de estas empresas pertenecía a pequeños fabricantes independientes. En 1969 se constituyó una asociación, Precast System, Inc., con sede en Chicago de 40 grandes fabricantes operando en 75 fábricas distribuidas por una zona amplia de los EEUU. Esta asociación promovía sistemas constructivos prefabricados, cuyos componentes podían conseguirse en cualquiera de sus fábricas.<sup>22</sup> En la siguiente tabla se presenta el estado del mercado del hormigón pretensado en los EEUU en 1971.<sup>23</sup>

MERCADO DEL HORMIGÓN PRETENSADO 1971	MILLONES DE DÓLARES
Edificios comerciales	1932
Edificios educacionales	736
Centros hospitalarios y sanitarios	256
Edificios públicos	150
Edificios religiosos y sociales	303
Edificios residenciales multifamiliares	2000
Fábricas	1071
Puentes	436
Otros	2400
Total	9284

Tabla 1 Mercado de hormigón pretensado en los EEUU en 1971 (Nota 21)

21 Diamant, R.M.E., Industrialised Building: 50 International Methods, 1964, London: Liffé Books, Pg. 102

22 FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 407

23 FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 408

En el capítulo Industrialización de la Construcción en USA del libro Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Fernández O. Francisco presenta analíticamente todas las características de los componentes y sistemas constructivos de la industria del hormigón pretensado en los EEUU en los años '70. Con el fin de comprender los ejemplos que se analizarán en este trabajo, elijo presentar unos fragmentos del dicho libro que se concentrarán en las tablas de componentes y sistemas constructivos. En 1968 , el comité de estandarización del P.C.I.

TABLA 2 CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS EN EL MERCADO DEL HORMIGÓN PRETENSADO EN 1968 EN LOS EEUU<sup>24</sup>

ELEMENTOS (secciones)	Nº DE FÁBRICAS	% DEL TOTAL
<b>PILARES</b>		
Cuadrada	125	42.5
Rectangular	101	34.4
Circular aligerado	15	5.1
<b>VIGAS</b>		
Rectangular	158	53.8
T invertida	120	40.7
L	108	36.6
I (AASHO Standards)	93	33.3
I (State Highways Standards)	70	23.7
Cajón (AASHO Standards)	62	21.1
Cajón (State Highways Standards)	37	12.6
T	22	7.5
V	20	6.8
<b>VIGUETAS</b>		
Trapezoidal	68	23.1
T	51	17.3
Rectangular	50	17.0
I	14	4.8
<b>PLACAS FORJADO</b>		
TT	168	57.0
T	114	38.7
Placas macizas	102	34.6
U invertida	76	25.8
Aligerada (Moldeadas)	71	24.1
Aligerada (Por extrusión)	63	21.4
Y	39	13.2
F	25	8.5
Otras	22	7.5

<sup>24</sup> FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 411



TABLA 3. UTILIZACIÓN DE LAS PLACAS PREFABRICADAS.<sup>25</sup>

ELEMENTO	UTILIZACIÓN	PORCENTAJE DE LAS FÁBRICAS QUE LAS PRODUCEN
PLACAS EN TT	Forjados y cubiertas	100%
	Paredes exteriores	50%
	Puentes	16%
PLACAS EN T	Forjados y cubiertas	100%
	Paredes exteriores	36%
	Puentes	19%
PLACAS EN F	Forjados y cubiertas	100%
	Paredes exteriores	20%
	Puentes	7%
PLACAS EN U INVERTIDA	Forjados y cubiertas	100%
	Paredes exteriores	16%
	Puentes	42%
PLACAS ALIGERADAS EX-TRUSIONADAS	Forjados y cubiertas	100%
	Puentes	41%
PLACAS ALIGERADAS MOL-DEADAS	Forjados y cubiertas	100%
	Puentes	22%
PLACAS MACIZAS	Forjados y cubiertas	72%
	Paredes exteriores	33%
	Puentes	22%

### 3.4. SISTEMAS A BASE DE PANELES DE HORMIGÓN: SISTEMAS CERRADOS

Se presentarán dos tablas de sistemas constructivos extraídas del libro de FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA.<sup>26</sup> En la primera tabla se presentarán los sistemas constructivos a base de paneles de hormigón cuyo origen es auténticamente norteamericano, mientras en la segunda tabla se presentarán los sistemas que provienen de patentes extranjeras introducidos en el mercado norteamericano. Francisco Fernandez presentando estas dos tablas pone énfasis en la importancia de los patentes extranjeras, por el hecho de que la mayor parte de ellos aparecieron en los EEUU con la publicación de la Ley de la Vivienda de 1968 y platillo de la operación Breakthrough. Habla de una auténtica invasión de la tecnología extranjera en los EEUU en los últimos años de la década de los '60.

<sup>25</sup> FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 417

<sup>26</sup> FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 419- 422

TABLA 4. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE PANELES DE HORMIGÓN PREFABRICADO PROVENIENTES DE LOS EEUU

NOMBRE DEL SISTEMA	ORIGEN Y ÁREA GEOGRÁFICA	COMPONENTES Y SISTEMA ESTRUCTURAL	INSTALACIONES INCORPORADAS	PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS	ACABADOS	TIPOS DE EDIFICIOS
<b>CEBUS USA.</b>	California 1970	Vigas columnas y placas de forjado pretensadas	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación. Aire Acondicionado	En fábrica o insitu. Núcleo de comunicaciones construido mediante el encofrado deslizante	Exteriores: según moldes. Interiores: convencionales	Apartamentos. Oficinas.
<b>CHALLENGE SYSTEM</b>	USA. 1961. Estados de Costa oriental	Paneles portantes y de forjado	Electricidad	insitu	Convencionales	Apartamentos
<b>C-M BRICK PANELS</b>	USA 1967. Estados del Golfo de México	Paneles portantes de ladrillo listo		En fábrica. Moldes horizontales	Exteriores: distintas variedades de ladrillo. Interiores: convencionales	Comerciales. Apartamentos. Hoteles.
<b>COMPO-NO-FORM</b>	USA 1966	Vigas. Columnas. Paneles no portantes y placas de forjado	Electricidad. Fontanería	En fábrica o insitu	Exteriores: variados en color y formas según áridos y moldes. Interiores: convencionales	Apartamentos. Oficinas. Comercio.
<b>CON- COM SYSTEM</b>	USA 1969. estados del medio oeste	Paneles portantes y placas de forjado pretensadas	Electricidad	Forjados por extrusión. Paredes exteriores e interiores: en mesas y/o baterías de moldes	Exteriores: según el fabricante. Interiores: convencionales	Apartamentos. Moteles.
<b>DUES Building System</b>	USA. Estados del medio oeste	Paneles portantes y placas de forjado aligeradas	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación. Aire Acondicionado	En fábrica	Exteriores: según el fabricante. Interiores: convencionales	Apartamentos. Oficinas. Comercio.
<b>DUOTEX</b>	USA 1969	Vigas y placas de forjado en T o TT pretensadas. Columnas y paneles portantes	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación. Aire Acondicionado	En fábrica	Exteriores: según el fabricante. Interiores: convencionales	Oficinas. Escuelas. Comercio. Edificios públicos.
<b>DYNA- FRAME</b>	USA Estados de N.E.	Vigas. Columnas y placas o bovedillas del forjado	NADA	En fábrica	Convencionales	Apartamentos. Oficinas. Naves industriales.
<b>FABRIWALL</b>	USA 1969. Estados de N.E.	Paneles portantes de ladrillo visto		En fábrica. Moldes horizontales	Exteriores: distintas variedades de ladrillo. Interiores: convencionales	Apartamentos. Moteles.
<b>FLEXI- FRAME</b>	USA estados del Medio oeste	Vigas Columnas y paneles o bevedillas de forjado	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación. Aire Acondicionado	En fábrica	Convencionales	Oficinas. Comercios. Naves industriales.

### 3. SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS

<b>FOREST-CITY DILLON</b>	USA	Paneles portantes y de forjado combinados con elementos moldeados insitu	Electricidad. Fontanería	En fábrica e insitu	Exteriores: según moldes. Interiores: madera	Apartamentos.
<b>OMNIFORM</b>	USA 1964	Paneles portantes y placas pretensadas de forjado unidas mediante postensado	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación. Aire Acondicionado	Forjados: por extrusión o en mesas. Paneles: en mesas	Exteriores: según moldes. Cerámicos. Interiores: pintura. Papel. Laminados	Apartamentos. Oficinas. Comercios.
<b>SAN VEL CORP</b>	USA 1964. Estados de New England	Paneles portantes y placas de forjado aligeradas. Células de escaleras y ascensor	Electricidad	En fábrica o insitu	Exteriores: según áridos. Interiores: convencionales	Residencias. Educativas.
<b>TECHCRETE</b>	USA 1967. Estados del N.E.	Paneles portantes y placas de forjado aligeradas. Células de baño y cocina. Los edificios están pretensados verticalmente a lo largo de su altura	Introducidas en los huecos del forjado. Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación	En fábrica o insitu	Exteriores: variados. Interiores: convencionales	Apartamentos
<b>TOWNLAND</b>	USA 1971. Estados del N.E. Y N.W.	Columnas prefabricadas y jácenas en L forman los pórticos de la superestructura con luces de 30X55 pies cuyos forjados son vigas placa en U invertida. Dentro de esta superestructura se colocan 2 y 3 pisos de viviendas formadas mediante paneles de chapa aligerada y células de instalaciones	Electricidad. Fontanería y módulos tridimensionales con el resto de las instalaciones mecánicas	Superestructura fabricada en factoría fija. Paneles y núcleos de servicios producidos en fábrica	Exteriores: chapa de acero y hormigón pintado en fábrica. Interiores: convencionales	Apartamentos. Almacenes. Tiendas. Edificios públicos
<b>TRIPOSITE</b>	USA 1969	Elementos prefabricados estándar: vigas en T invertida. Pilares etc	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación. Aire Acondicionado	En cualquier fábrica de elementos de hormigón	Convencionales	Residencias universitarias

Tabla 4. Sistemas de origen norteamericano (Nota 26)

TABLA 5. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE PANELES DE HORMIGÓN PREFABRICADO PROVENIENTES DE LOS PAÍSES EUROPEOS

NOMBRE DEL SISTEMA	ORIGEN	ÁREA GEOGRÁFICA	COMPONENTES	INSTALACIONES INCORPORADAS	PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS	ACABADOS	TIPOS DE EDIFICIOS
<b>BALCO BUILDING SYSTEM</b>	Alemania (USA 1970)	Estados del Medio Oeste	Paneles portantes y placas de forjado	Electricidad. Calefacción	En fábricas o in situ. Forjados: mesas. Paredes exteriores: mesas/batería de moldes. Paredes interiores: mesas/batería de moldes	Exteriores: áridos vistos. Interiores: convencionales	Residenciales. Comerciales. Industriales.
<b>BALENCY-MBMUS CORP. BUILDINGS SYSTEMS INTERNATIONAL</b>	Francia 1949	Región de Nueva York	Paneles portantes y de forjado	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Aire Acondicionado.	Fábrica muy mecanizada o in situ	Exteriores: según moldes. Interiores: convencionales	Apartamentos. Escuelas. Hospitales.
<b>BISON WALL FRAME</b>	Gran Bretaña (USA 1970)	Costa de Atlántico	Paneles portantes con puertas y ventanas. Placas de forjado	Electricidad. Fontanería. Calefacción	En fábrica. Forjados: extrusión. Paredes exteriores: mesas. Paredes interiores: baterías de moldes	Exteriores: según moldes. Cerámicos. Interiores: convencionales	Apartamentos. Oficinas.
<b>COIGNET AMERICAN</b>	Francia (USA 1971)	Costa de Atlántico	Paneles portantes y de forjado. Paneles sandwich para divisiones. Células de baño	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación.	En fábrica. Mesas de batería de moldes. Curado para vapor	Exteriores: pintura; cerámicos; según moldes. Interiores: Pintura; Papel. Suelos: madera; terrazo	Apartamentos. Hospitales. Hoteles. Oficinas.
<b>CONCRETE BUILDING SYSTEM</b>	Holanda (USA 1962)	Región de Ohio	Paneles portantes y de forjado	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Aire acondicionado. Ventilación.	In situ. Mesas y baterías de moldes	Convencionales	Apartamentos.
<b>DESCORDIA</b>	Canadá (USA 1971)	USA	Paneles portantes y de forjado	Electricidad	En fábrica o in situ	Convencionales	Apartamentos.
<b>FIORIO</b>	Francia (USA 1970)	Estados del Golfo de México	Paneles portantes con núcleo cerámico de 6 3/4 pulgadas. Paneles divisorios con núcleo de ladrillo de 2 pulgadas de espesor. Forjados pretensados	Electricidad	En moldes horizontales	Enlucidos de cemento	Residenciales.

<b>J E S P E R - SENKAY</b>	Dinamarca	Estados de N.E.	Paneles portantes y placas de forjado	Electricidad. Fontanería. Calefacción	En fábrica	Interiores: Papel; Pintura. Suelos: madera; cerámica; moqueta	Apartamentos.
<b>M O D U L E COMMUNITIES CAM- CI</b>	Francia	Estados de N.E.	Paneles portantes y de forjado	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación. Aire acondicionado	En fábrica; Mesas y baterías de moldes	Exteriores: áridos vistos según moldes. Interiores: convencionales	Apartamentos. Oficinas.
<b>PRETON</b>	Suiza (USA 1968)	Estados de S.E.	Paneles portantes con núcleo de ladrillo o bloques aligerados de hormigón	Electricidad	En fábrica	Exteriores: ladrillo. Interiores: convencionales	Escuelas. Apartamentos. Edificios comerciales.
<b>RELBE</b>	Gran Bretaña (USA 1970)	Puerto Rico y estados de S.E.	Paneles portantes y de forjado	En fábrica o insitu	Convencionales	Apartamentos y oficinas.	
<b>R O U S E - WATES</b>	Gran Bretaña (USA 1970)	Costa del Atlántico	Paneles portantes y de forjado	Electricidad. Fontanería. Calefacción	En fábrica o insitu. Mesas y baterías de moldes	Exteriores: Según moldes; cerámica; Pintura. Interiores: Pintura; Papeles o laminados	Apartamentos.
<b>S E C T R A AMERICA</b>	Francia (USA 1959)	USA	Elementos espaciales de tamaño de una habitación formados mediante encofrados Túnel	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación. Aire acondicionado	Insitu; Encofrados Túnel	Convencionales	Apartamentos. Oficinas. Escuelas. Hoteles.
<b>W I L S O N CONCRETE COMPANY</b>	Alemania Federal (USA 1969)	Estados del Medio Oeste	Paneles portantes y de forjado. Células de baño	Electricidad. Fontanería. Calefacción. Ventilación	Insitu	Exteriores: variados según áridos y moldes. Interiores: convencionales	Apartamentos. Hoteles.

Tabla 5. Sistemas de origen extranjero introducidos en el mercado norteamericano. (Nota 26)

### 3.5. MÓDULOS TRIDIMENSIONALES

A finales de la década de los '60 Y durante la década de los '70 Aumentó el interés del mercado de la construcción residencial a través de los módulos tridimensionales. El hotel Palacio del Río, en San Antonio, Texas, es el ejemplo más importante edificio modular en altura. Se construyó en 1970 y tiene 21 plantas de las cuales las 17 están construidas con módulos tridimensionales.. Este ejemplo se analizará con más detalles en el capítulo 7. Las empresas que desarrollaron sistemas a base de módulos tridimensionales se ubican en California y Puerto Rico y una de estas en Chicago. Generalmente no hay muchos ejemplos de edificios residenciales en altura que emplearon este sistema durante las décadas de los '60 Y '70, Debido a las características propias del sistema, inflexibilidad de la forma y alto coste de construcción por el transporte y difícil manejo de los módulos.

## **4. ANÁLISIS. PREFABRICACIÓN “INSITU”- SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS**

### **COTA CERO**

En este capítulo se presentarán dos métodos constructivos basados en la ejecución de edificaciones desde el nivel del terreno:

- “Tilt-Up” es la técnica de verter el hormigón en el suelo en un molde rectangular para formar paneles estructurales, y después levantarlos por medio de una o más grúas al sitio final.
- “Lift-Slab” consiste en moldear todos los forjados en el nivel del terreno, uno encima del otro usando cada forjado inferior como el encofrado del siguiente, para posteriormente elevar los mediante los gatos hidráulicos a su posición final fijadas sobre los pilares del edificio.

Se trata de sistemas que han aplicado la prefabricación “insitu”. Ambos sistemas se han aplicado en la construcción de los edificios residenciales plurifamiliares durante las primeras dos décadas de la época de postguerra (“Tilt-Up” en los años ‘50 y “Lift-Slab” en los años 60) y su éxito fue el resultado de la rapidez y el bajo coste de la construcción. La diferencia fundamental entre estos dos sistemas es que con el método “Tilt-Up” se han logrado construir edificios residenciales de pequeña altura, máximo de tres plantas y hasta el día de hoy no se han superado las cinco plantas de altura. Así que no se presentará el análisis del sistema en extensión. Sin embargo “Tilt-Up” representa un paso importante en la historia de la industrialización de la vivienda y la prefabricación “insitu” con hormigón como el material predominante, así que considero imprescindible hacer una referencia a este sistema constructivo.

Por otro lado el sistema que más se acerca al objetivo de este trabajo es “Lift-Slab”, por su capacidad de proporcionar un sistema constructivo a través del cual se han construido edificios de apartamentos en altura de hasta 16 plantas. Además este sistema constructivo tuvo un papel importante en la evolución del pretensado de hormigón en los EEUU. Así que con el fin de comprender el sistema en su profundidad, se presentará la historia de su evolución a través de la presentación del patente y sus variaciones, y se analizará un ejemplo de dos bloques de edificios residenciales de 15 plantas de altura, Huron Towers Apartments, construidos en Ann Arbor, Michigan en 1960.

## 4.1.SISTEMA CONSTRUCTIVO “TILT-UP”

### 4.1.1.INTRODUCCIÓN AL SISTEMA

Tilt-up es la técnica de verter el hormigón en el suelo en un molde rectangular para formar paneles estructurales, y después levantarlos por medio de una o más grúas al sitio final. En la construcción residencial esta técnica se aplicó para los paneles de los paramentos verticales de las viviendas de una hasta máximo tres plantas de altura. Fue un método muy popular en los EEUU durante los años '50 después de la Segunda Guerra Mundial. La técnica “Tilt-Up” se usó para la construcción de edificios militares durante la guerra. Durante este período la mayoría de los estadounidenses vivía o tenía un sueño de vivir en las viviendas unifamiliares. El resultado de la guerra, aparte de la falta de vivienda, fue además el miedo de una nueva guerra atómica, así que la solución de vivienda unifamiliar económica, hecha con un material como hormigón más resistente que la madera, dio un empuje al mercado de viviendas construidas a través de esta técnica.

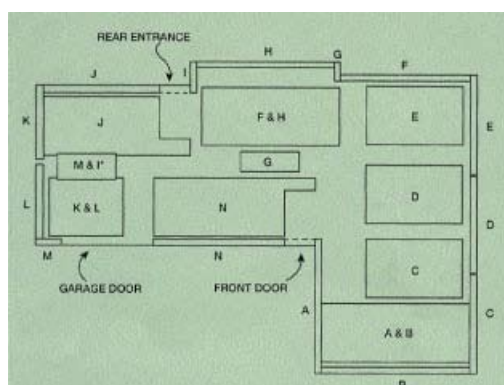


Fig. 17. Esquema de Los paneles “Tilt-Up” en la planta de un edificio<sup>27</sup>

Los paneles están señalados con letras y se muestran en las dos posiciones, horizontal y vertical. Las letras además de diferenciar los paneles señalan el orden de la prioridad del montaje. En algunas paredes se aplicaban más que un panel.

### 4.1.2. EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

EL sistema Tilt-Up como se describe en la revista virtual de la Construcción y Tecnología:<sup>28</sup>

Idealmente, se busca un lugar plano y abierto. Es necesario prestar bastante atención al suelo y al subsuelo de la obra ya que éste forman parte integral del sistema “Tilt-Up”. Se asegura de que existan buenas condiciones del suelo, que el relleno sea adecuadamente compactado, que se monitoree la humedad y que el subsuelo pueda soportar el piso de concreto del proyecto.

En seguida la siguiente tabla se presenta el proceso constructivo “Tilt-Up”.

27 STEIGER, Richard W., Tilt-up concrete houses- yesterday and today, The Aberden Group, Publication #C930564, 1993  
28 <http://www.imcyc.com/revista/2000/tiltup.html>







<p>Preparación de las cimentaciones</p>	<p>Las cimentaciones son normalmente excavaciones simples que requieren muy poca o ninguna formación lo cual las hace muy económicas y rápidas de construir.</p>	
<p>Construcción del piso.</p>	<p>Éste es muy importante ya que en la mayor parte de los casos se utiliza para el moldeado de los paneles. Normalmente se empotra la tubería y cualquier otra obstrucción entre dos y tres centímetros (alrededor de 2.5 cm) para poder tener un piso temporal sin obstrucción. Una vez que el piso esté terminado es importante colocar en él algún químico para asegurarse de que el hormigón del panel no se adhiera al hormigón del piso.</p>	
<p>Formación de los paneles.</p>	<p>Habitualmente se emplea madera para formar el perímetro del panel. La preplaneación y la mecanización pueden resolver muchas dificultades en la formación del panel, así como mejorar la calidad y significar un ahorro para los contratistas y los dueños.</p>	
<p>Colocación del refuerzo estructural.</p>	<p>La colocación del refuerzo estructural con el sistema tilt-up es mucho más fácil que en proyectos convencionales ya que el refuerzo se coloca horizontalmente y sobre una superficie dura en vez de verticalmente y en escaleras. El refuerzo del panel es muy importante porque en la mayoría de los casos este último soporta las cargas estructurales del techo y de los pisos intermedios.</p>	

Fig. 18. (Fuente: <http://www.zartman.com>)Fig. 19. (Fuente: <http://www.tiltup.com>)Fig. 20. (Fuente: <http://www.tiltup.com>)Fig. 21. (Fuente: <http://www.tiltup.com>)


Fundición de los paneles.	La distribución de los paneles es muy importante. Los paneles que utilizan materiales y productos locales se moldean en el sitio de la obra para incrementar la productividad y reducir los costos de transporte. Normalmente se colocan para que los camiones de hormigón tengan acceso y así la descarga sea directa. Para obtener una buena calidad en el panel es importante tener un buen control en la fabricación del hormigón. En el sitio debe contarse con personal especializado ya que la vibración del hormigón es muy importante para tener una buena compactación.	
Levantamiento de los paneles.	Una vez que están formados es necesario esperar un tiempo a fin de que el hormigón tome la suficiente resistencia para poder levantarlos. Mientras se puede proceder a colocar los soportes en los paneles limpiar los insertos y otras actividades para incrementar así la productividad de la obra. También es importante reducir al mínimo el tiempo de la grúa en la obra ya que es bastante costoso.	
Colocación del acero estructural- fijación de los paneles.	Una vez terminado el levantamiento de los paneles las vigas principales y secundarias pueden colocarse directamente en las preparaciones de los mismos que fueron diseñadas para esto.	
Instalación del diafragma de la cubierta.	En ciertos casos la cubierta es uno de los elementos más importantes en el sistema tilt-up ya que se la diseña como elemento estructural que transmite las fuerzas cortantes de viento a los paneles adyacentes.	
Terminación del proyecto.	Una vez que la cubierta esté colocada pueden removerse los soportes de los paneles y proseguirse las terminaciones internas y externas. La duración del proyecto depende de la dificultad y el área del mismo.	

Fig. 22. (Fuente: <http://www.tiltup.com>)Fig. 23. (Fuente: <http://www.tiltup.com>)

### 4.1.3. LA HISTORIA DE LA INVENCION Y LA EVOLUCION DEL SISTEMA “TILT-UP”

*“El Tilt-up elimina la práctica difícil y costosa para levantar dos muros de madera a través de uso de un único muro de hormigón”.*

Thomas Edison

1906

La construcción Tilt-Up es el más antiguo de los sistemas modulares, surgido en Estados Unidos a principios del siglo XX. El nacimiento de este sistema se produjo en una época de crecimiento económico fuerte y más concretamente en una de las zonas de más crecimiento de todo Estados Unidos, correspondiente a los estados colindantes con los tres grandes lagos (Superior, Michigan y Hurón) que es la zona de mayor producción de acero de todo Norteamérica. La causa del crecimiento económico fue debida al filón que supuso la Primera Guerra Mundial (1914-1918) en la que EEUU se convirtió en el principal abastecedor de material haciendo trabajar a sus empresas a pleno rendimiento. Posteriormente, la bonanza económica hizo que el país se adentrara en un periodo de prosperidad en el que creció de una manera desmesurada (1919-1928). A esta etapa se la denominó como los felices años 20 y el “American Way of Life”. En este contexto el método Tilt-Up no se expandió de la manera esperada. El factor limitante fueron los mecanismos de elevación y desplazamiento de los paneles. Si en esta situación tan favorable el sistema no se desarrolló, ya no lo haría en los años siguientes: en 1929 se declaró la peor crisis que ha soportado los EEUU en toda su historia. El hundimiento de la bolsa debido a la sobreproducción y la especulación sumieron al país en una profunda crisis: más de 15 millones de parados en 1933. Los años siguientes supusieron un intento desesperado por la recuperación del país tanto económica como moralmente.

En el principio del siglo XX el uso del hormigón como material de construcción para la vivienda había crecido en popularidad. Promovido por la industria de cemento, fue utilizado para casi todos tipos de vivienda: de casas moderadas de clase media hasta las viviendas de lujo de la clase alta. La producción de hormigón se realizaba en las industrias, fuera de las obras y las paredes se construían a través de la técnica del vertido de hormigón en los encofrados verticales. En 1900 Robert Aiken estaba construyendo los muros de contención en el campamento Logan en Illinois. En este momento fue cuando se le ocurrió la idea de en vez de utilizar el método habitual en la fabricación de muros de hormigón, verter las paredes de paneles en el suelo, horizontalmente para después levantarlos y colocarlos sobre una base preparada y formar las paredes. Para anclar los muros en la base, se utilizaron barras de acero. Aiken pronto se dio cuenta de que este método podría ser ventajoso en otras estructuras y la utilizó en una serie de edificios en Illinois. El primer edificio construido a través de la técnica Tilt-Up fue una fábrica de hormigón en la propia granja de Aiken, cerca de Zion City en Illinois. El hormigón se vertía sobre una capa de arena, dejando los huecos de las puertas y las ventanas. En 1906 utilizando el método Tilt-Up, Aiken construyó el memorial de la iglesia metodista de Sión y la casa de armas de dos pisos en el campamento de Logan. A partir de aquí, Aiken siguió refinando sus métodos para incluir una mesa de acero de inflexión que se utilizó en la construcción de 15 edificios en cinco estados diferentes.<sup>29</sup>

El inventor Thomas Edison que desde el principio del siglo XX estaba experimentando con sus casas monolíticas de hormigón conoció al método Tilt-Up y se dio cuenta de que este método constructivo era el camino hacía el futuro. En 1908 construyó un pueblo entero de viviendas de hormigón con el método Tilt-Up en Union, Nueva Jersey que se mantiene en pie casi 100 años después.

Aunque la mesa de inflexión de acero de Aiken hizo la construcción de tilt-up más fácil, el nuevo método de construcción con hormigón no empezó ganando popularidad hasta que se producirían dos inventos que finalmente harían despegar el método Tilt-Up: el camión hormigonera y las grúas móviles a finales de 1940.

Estos elementos, tan usuales hoy en día en cualquier obra, proporcionaron a los constructores la capacidad de manejar mayores cantidades de hormigón en la obra, elevar los paneles de una manera eficiente así como la posibilidad de emplear el método en zonas relativamente alejadas de centrales de producción de hormigón. De este modo, el método conoció una expansión aunque cuatro décadas después de su nacimiento.

#### **4.1.4. LAS VENTAJAS Y LIMITACIONES**

##### Las Ventajas

- Se emplea menos material para formar los elementos verticales los cuales soportan cargas del marco estructural y el techo.
- Como los paneles se moldean en la obra se elimina la necesidad de transporte y limitación de dimensiones por el transporte.
- Se facilita el posicionamiento de todas las instalaciones que van en el panel ya que se hacen de manera horizontal y no vertical.
- Calidad: Los edificios construidos con el sistema tilt-up pueden incorporar las últimas tecnologías y la experiencia de diseños innovadores y construcciones nuevas.
- Rapidez de construcción: Los sistemas de ingeniería y productividad en serie permiten ahorro en tiempo y mano de obra.
- Libertad de diseño: Muros sin columnas permiten la libre localización de puertas y estantes.
- Versatilidad: Los paneles tilt-up son fáciles de modificar para acomodar nuevas aberturas o ampliaciones del proyecto.
- Financiamiento: Por la duración natural del concreto, los proyectos tilt-up son preferidos por instituciones bancarias.
- Venta posterior: Los edificios de concreto mantienen la apariencia, la integridad estructural y el valor.
- Economía térmica: Las propiedades térmicas del hormigón y la ayuda de varios sistemas de aislamiento reducen al mínimo los costos de energía.
- Factores de filtración: Los edificios de hormigón son impermeables al aire, reduciendo las oscilaciones de calor y frío y la dimensión de las unidades mecánicas.
- Reducción de mantenimiento: La durabilidad del hormigón y el detalle en la construcción reducen los costos de mantenimiento.



- Resistencia al fuego.

#### Limitaciones

- La mayor desventaja del sistema es que no se pueden construir edificios en altura. En la actualidad se ha logrado construir edificios de hasta cinco plantas de altura.
- Tecnológicamente el sistema no ha evaluado mucho y su mercado se ha alejado de la construcción residencial.

## 4.2. SISTEMA CONSTRUCTIVO “LIFT-SLAB”

El método constructivo denominado como “Lift- slab”, losas levadizas, comenzó a desarrollarse en la década de los años 1950 en Columbia, EEUU y se convirtió rápidamente en uno de los métodos constructivos más populares y económicos en la construcción de edificios de planta repetitiva en altura como de apartamentos, oficinas, aparcamientos, hoteles etc. El sistema es conocido también como “Youtz- Slick Method”, recibiendo el nombre de sus inventores Philip N. Youtz y Thomas B. Slick, patentado el día 17 de Agosto de 1954 (Patente nº 2686420, “Slab Lifting Apparatus”).<sup>32</sup>

El método consiste en moldear todos los forjados en el nivel del terreno, uno encima del otro usando cada forjado inferior como el encofrado del siguiente, para posteriormente elevar los mediante los gatos hidráulicos a su posición final fijadas sobre los pilares del edificio. Para evitar la adherencia entre los forjados la losa de base se cubre con un líquido especial antiadherente. El único encofrado que se necesita en este método es en los bordes de los forjados y en los huecos de ascensores y escaleras. Además en las losas se incluyen unos anillos, normalmente de perfiles UPN de acero, que sirven como encofrados para crear los huecos alrededor de los pilares y que permiten su deslizamiento sobre los pilares tal como los elementos de fijación posterior permanente entre la losa y el pilar.

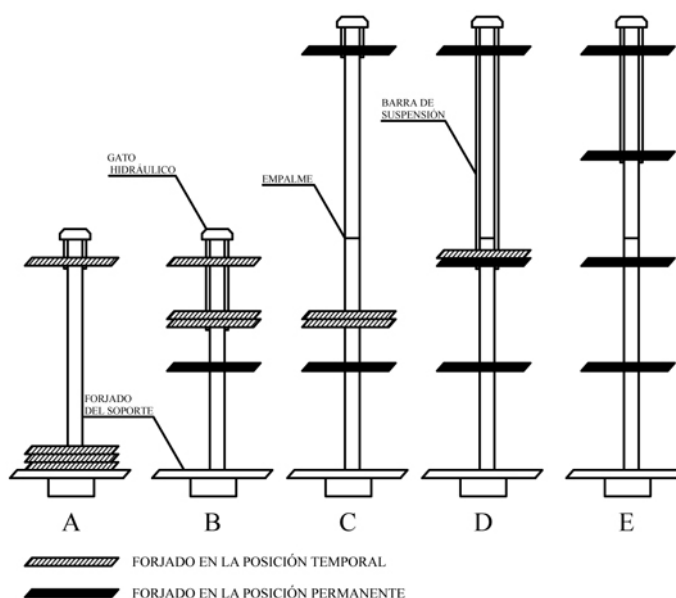


Fig. 24 Esquema explicativo del sistema “lift-slab”<sup>33</sup>

En los primeros edificios construidos con el sistema constructivo “Lift-slab” no se usaron losas de hormigón pretensadas y se usaban las losas de 13 cm, ya que las luces empleadas eran relativamente pequeñas de 4 a 5 m, y los edificios no superaban la altura de 5 plantas. Posteriormente el sistema se ha empleado para construcciones de edificios de hasta 16 plantas de altura con luces de 6 a 10 m. Esto resultó a causar problemas de deflexiones y peso aumentado de las losas. Con el fin de resolver los problemas de deflexiones y reducir el peso de los forjados comenzaron a emplearse las losas pretensadas con el sistema europeo BBRV (“Button-headed” Tendon system).<sup>34</sup> Este sistema resultó caro e ineficiente, así que en 1962 se introdujo un sistema nuevo de pretensionado denominado como “Strand P/T System”, desarrollado por Ed Rice, el presidente de la empresa constructora T.Y. Lin & Associates. Así que el método constructivo “Lift-slab”, aunque prácticamente se abandonó en las décadas posteriores tuvo un significativo importante en el campo de pretensado de

32 <http://www.freepatentsonline.com/2686420.pdf>

33 ZALEN, Rubin M., PERAZA, David B., Engineering considerations for lift-slab construction, ASCE, 2003, Pg. 11

34 BONDY, Ken, Post- Tensioned Concrete in Buildings ,A 40+ Year Overview, ACI Fall Convension, San Francisco, 2004



hormigón en la construcción de los EEUU.

#### **4.2.1.DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO YOUTZ- SLICK, PATENTE N° 2686420,**

##### **“SLAB LIFTING APPARATUS”<sup>35</sup>**

El proceso tal como se describe en el patente publicado consiste en:

1. Primero se realizan las excavaciones, se prepara y se nivela el terreno par la ejecución de una cimentación y/o solera a nivel de la planta baja. Las zapatas de los pilares y los muros de contención se pueden construir directamente en el terreno sin la necesidad del uso de encofrados especiales.
2. Montaje de pilares estructurales sobre las zapatas en sus posiciones con su altura total o tramo de varias plantas. Después se vierte el hormigón de la planta baja alrededor de los pilares asegurando así su estabilidad estructural en todas las direcciones.
3. El forjado de base (del sótano o de la planta baja) se cubre con papel impregnó de construcción y se colocan anillos alrededor de cada pilar.
4. Se realiza la ejecución de la losa de la siguiente planta. Antes de verter el hormigón de la segunda losa, se construyen los encofrados o muros que determinarán los extremos del perímetro de la losa. Los collares previamente colocados servirán también como encofrados para crear los huecos alrededor de los pilares. Su función principal es de puntos de levantamiento a los cuales “Lifting Apparatus” se puede sujetar, y luego ajustar permanentemente a los pilares.
5. Si el edificio será de altura de una planta, entonces la segunda losa constituirá el techo del edificio. La losa entonces se eleva a su posición final a través del aparato de la invención conectado a los pilares y se sujeta permanentemente a los pilares. Durante la operación del izado, el peso entero del forjado se carga a los pilares.
6. Si el edificio será de varias plantas, entonces se repite el proceso anterior de la ejecución de las losas una encima de la otra.
7. Cuando se acaba la ejecución de todas las losas, la losa superior será elevada con “Lifting Apparatus” asociado con los pilares, en la posición algo superior que la posición predeterminada para el segundo nivel y se asegurará temporalmente a los pilares. La misma operación será repetida para las losas de todos los niveles, excepto del segundo con el resultado de que todas las losas serán temporalmente aseguradas en la posición un poco superior del segundo nivel.
8. La losa de la segunda planta entonces se eleva a su posición final y se asegura y conecta permanentemente a los pilares. Después, todas las losas excepto la losa de la tercera planta se elevan una por una a la posición un poco superior al nivel de la tercera planta y se conectan temporalmente con los pilares. La losa de la tercera planta entonces se eleva a su posición final y se asegura y conecta permanentemente a los pilares.
9. La operación anterior se repite hasta que las losas de todos los forjados estén en su posición final y aseguradas y conectadas permanentemente mediante elementos soldados que permiten que los anillos incorporados en las losas se apoyen sobre los pilares.

En el patente además de esta extensa descripción del “Lifting Apparatus” se presentan las ilustraciones del mismo.

Esquema 1

Vista perspectiva de “Lifting Apparatus” que ilustra la construcción de un edificio en el cual se han montado los pilares, con el forjado de la planta baja y el forjado de la planta primera ya vertidos.

Esquema 2

Fragmento de la planta ampliado donde se ilustra la sección horizontal del pilar y del tornillo.

Esquema 3

Fragmento de la perspectiva mostrando la barra de suspensión mediante los cuales las losas se elevan en su posición final.

Esquemas 4,5 y 6

Vistas esquemáticas que muestran la secuencia de izado del edificio que tiene cinco plantas y la losa de la cubierta.

Esquema 7

Es un fragmento del alzado ilustrando uno de los pilares con su gato hidráulico y también la losa del forjado de la segunda planta vertida y apilada directamente sobre la losa de la planta baja.

Esquema 8

Ilustra la barra de suspensión.

Esquema 9

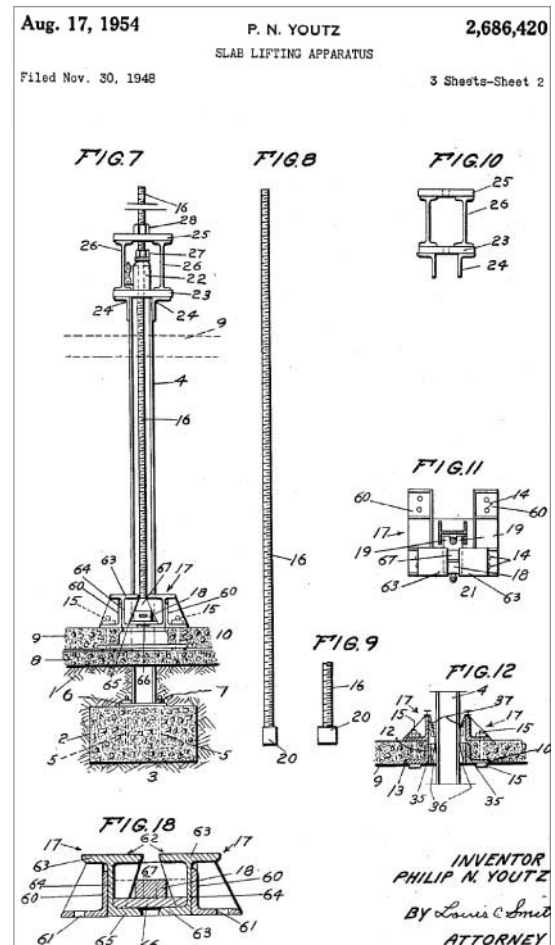
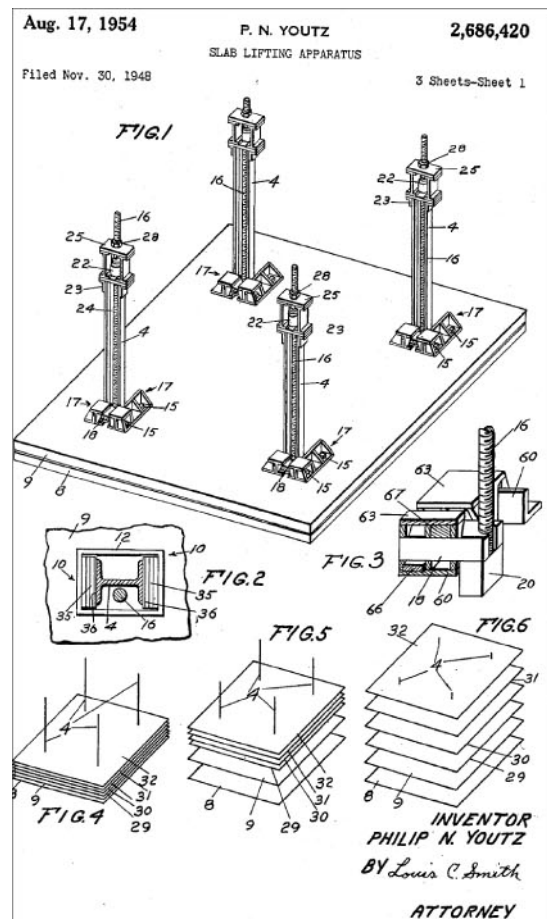
Ilustra la parte inferior de la barra de suspensión.

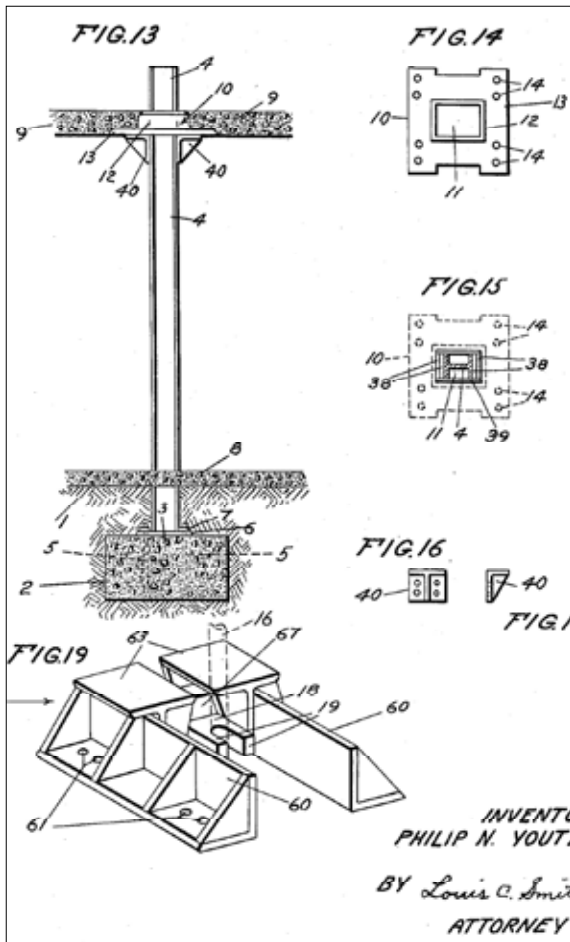
Esquema 10

Ilustra el soporte de los gatos hidráulicos montados en cada pilar.

Esquema 11

Ilustra el collar en la posición alrededor del pilar.





Esquema 12

Es un fragmento de la sección ilustrando la operación de la fijación de las cuñas de seguro.

Esquema 13: Ilustra la operación de izado del edificio, ilustrando la planta segunda después de haber sido elevada y conectada al pilar.

Esquema 14

Ilustra la planta baja del collar que se incorpora en las losas con el vertido del hormigón.

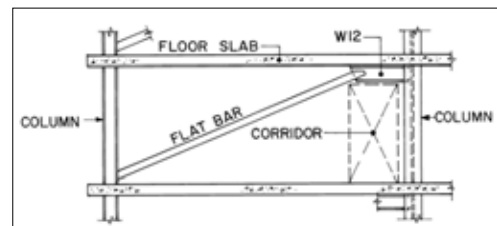
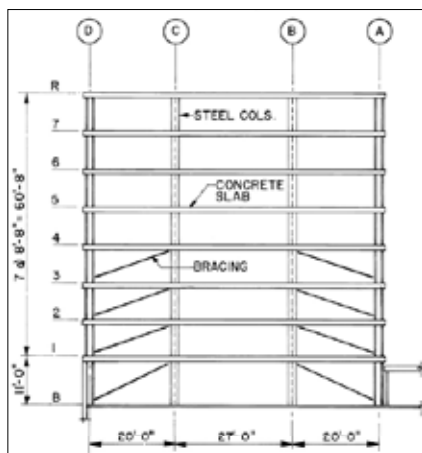
Esquema 15

Es el plan que muestra el proceso del bloqueo usado para ajustar el collar al pilar.

Esquemas 16 y 17

Son las conexiones angulares de acero estandarizadas mediante las cuales varias losas se pueden conectar a los pilares.

En la aplicación del sistema “lift-slab” el arriostramiento es necesario, porque la estructura en su conjunto no es resistente a los esfuerzos horizontales. Para esto se emplean muros arriostrantes o cruces de san Andrés. Otras dificultades significativas en el método se presentaron en el sistema de elevación de las losas. Concretamente en la sincronización del funcionamiento de todos los gatos hidráulicos que posteriormente se resolvió con la inclusión de centrales computarizadas que registraban los movimientos de los gatos hidráulicos por escalones, que evitaran la izada hasta el momento en que todos los alcanzaban un escalón determinado. De este modo se evitan faltas en la horizontalidad de las losas durante el proceso de izada y por lo tanto fallos de estabilidad.<sup>36</sup>


Fig. 26. Esquemas de arriostramiento inadecuado del edificio plurifamiliar que colapsó en Boston<sup>37</sup>

36 HERMO SÁNCHEZ, Victor Manuel, Tesis doctoral: Sistema Constructivo Industrializado in Situ COTaCERO, 2011, pg. 49

37 ZALLEN, Rubin M., Deficiencies in bracing of lift slab buildings, FEC, 2004

#### 4.2.2. VARIANTES DEL SISTEMA

Durante las décadas de los años '70 y '80 Se patentaron y desarrollaron varios sistemas variantes del sistema “Lift- slab”, que en este trabajo no se analizan en extensión, porque el método más utilizado en los edificios plurifamiliares en altura precisamente es el método de “lift-slab”. Aquí simplemente se mencionarán las características básicas y las diferencia del sistema original. Los variantes más importantes son:

- El método Lift- Plate patentado el día 01 de marzo de 1988 por Peter M. Vanderklaauw denominado como: “System for synchronized lifting of heavy building elements”, patente n° 482315.<sup>38</sup> La diferencia del sistema “lift- slab” es que en vez del uso de un gato hidráulico por pilar en el sistema “lift-plate” se propone el uso de dos gatos por cada pilar. Este método permite la utilización de tramos mayores de pilar y edificios de más plantas. Se nota una mejora del anillo que ahora se compone por dos piezas en vez de una.
- El método Multileveling Component presentado como el apartado del patente n° 3594965 por Kolbjorn Saether en el 1974 “Precast Building Construction”<sup>39</sup> Su diferencia principal es que propone la instalación de pilares provisionales reutilizables para la izada, y como soportes permanentes, pilares prefabricados de hormigón de sección en L. Tal como en el método “Lift-Plate” aquí también se propone la utilización de dos gatos hidráulicos por cada pilar.
- El método Cortina, patentado por Pablo Ortega Cortina el día 17 de agosto de 1976. Patente n° 3974618 “Methods of and means of for multi-story building construction”.<sup>40</sup> El método también conocido como la segunda generación de “Lift- Slab”, es el único que ofrece una innovación y evolución del sistema original incorporando las partes de las fachadas que se hormigonan en horizontal entre las losasde forjados de planta baja. Estas losas de las fachadas se unen a las losas de los forjados superiores mediante una articulación de la forma que se elevan las losas, las fachadas se despliegan simultáneamente para adoptar su posición vertical final, en el momento que la losa está fijada permanentemente a los pilares de soporte. La estructura en su conjunto es una estructura de fachadas portantes.

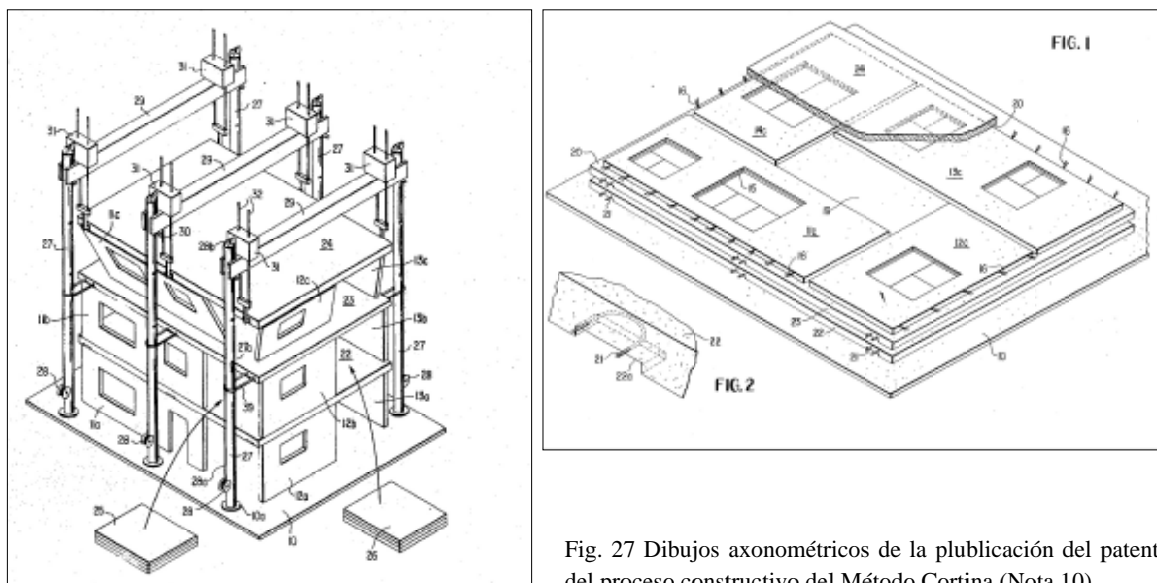


Fig. 27 Dibujos axonométricos de la publicación del patente del proceso constructivo del Método Cortina (Nota 10)

38 <http://www.freepatentsonline.com/4832315.html>

39 <http://www.freepatentsonline.com/3594965.html>

40 <http://www.freepatentsonline.com/3974618.pdf>

### 4.2.3. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Ventajas:

- La eliminación de los encofrados.
- La eliminación de apuntalamientos, andamios y el uso de grúas.
- Las losas pueden ser hormigonadas y protegidas al intemperie fácilmente sin necesidad de calentamiento y precauciones especiales.
- Fácil manipulación de materiales mediante su colocación sobre las losas que se elevan, para ser utilizados en el nivel correspondiente.
- En cuanto el diseño arquitectónico, es importante anotar la reducción de la estructura a pilares y forjados, eliminando las vigas y los muros portantes. Así es posible crear espacios más versátiles abiertos y flexibles.
- Los acabados de las losas son lisos y la parte inferior de cada losa no necesita enyesado o revoque.
- Reducción del tiempo de la construcción debido a que no se pierde el tiempo para esperar el curado del hormigón porque usualmente mientras los gatos hidráulicos se preparan para la elevación, el hormigón está bastante duro para ser elevado. También las losas se pueden elevar en pares o en pilas.

Las ventajas con respecto a las construcciones prefabricadas, tal como se describen en la tesis doctoral de Victor M. Hermos Sánchez, Sistema Constructivo Industrializado in Situ COTaCERO<sup>41</sup>:

- El transporte se simplifica, al tratarse solo de un transporte de materias primas. Se adapta mejor a cada proyecto y situación, ya que no es parte de unos elementos integrados fijos, aunque si mantiene unas reglas de diseño o limitaciones.
- No implica una inversión tan importante como la puesta en marcha de un sistema constructivo a partir de nuevos elementos prefabricados, admitiendo asimismo series de producción más pequeñas.

Limitaciones:

- La inestabilidad de la estructura y la necesidad de medios de arriostramiento posteriormente de la construcción.
- Los grandes esfuerzos concentrados por punzonamiento de las losas en su apoyo los pilares.
- Aunque para la construcción de los forjados no son necesarios medios auxiliares como las grúas, andamios etc, el hecho de que el proceso del montaje se realiza desde arriba hacia abajo implica su utilización.
- Los puntos de anclaje entre los pilares y las losas de forjado se realizan in situ y en altura, y como se ha comprobado en varios colapsos progresivos de los edificio en el pasado, son puntos esenciales

---

41 HERMO SÁNCHEZ, Victor Manuel, Tesis doctoral: Sistema Constructivo Industrializado in Situ COTaCERO, 2011, pg. 83



para el comportamiento estructural integral y se pueden provocar accidentes graves si no se resuelven correctamente.

#### 4.2.4. CASO DE ESTUDIO 1: HURON TOWERS APARTMENTS<sup>42</sup>

Arquitecto	King & Levis, Inc.
Contratista	Future House Apartments, Inc.
Propietario	Morton L., Scholnick y Saymour Dunitz
Emplazamiento	Ann Arbor Michigan EEUU
Año de construcción	1960
Sistema Constructivo	Lift-slab, Pilares HEB de acero con forjados de hormigón armado
Coste de Construcción	7 000 000 \$
Nº de plantas	15



Fig. 28 Imagen del conjunto de edificios en el año 1960<sup>43</sup>



Fig. 29 Paneles prefabricados de la fachada<sup>44</sup>

En diciembre de 1961 en la revista de American Concrete Institute, Philip Youtz, el inventor del método constructivo “Lift- Slab”, describe el proyecto como la vivienda del futuro. La revista Architectural Record en 1960 lo caracteriza como el proyecto más ambicioso en el uso del sistema Youtz-Slick Lift-slab en los EEUU: “Cada forjado es más pesado y de dimensiones más grandes que cualquier proyecto en que se había usado este sistema constructivo hasta la fecha”<sup>45</sup>

##### 4.2.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Huron Towers introdujo un concepto residencial que se caracterizó revolucionario en la época para la ciudad de Ann Arbor, localizada en el estado de Michigan. La mayoría de los residentes de Ann Arbor en la década de los ´60 solían vivir en viviendas unifamiliares, de una hasta máximo tres plantas, de construcción de entramado de madera. Existían pocos edificios en altura localizados en la calle principal.

Consiste de dos bloques de edificios de 15 plantas, de los cuales las 3 son sótanos. El sótano superior que realmente es la planta baja se destinó para el uso comercial, como tiendas, farmacia, salones de belleza etc. En las 12 plantas superiores de cada torre se sitúan 180 apartamentos. Cada habitación tiene instalaciones de

42 YOUTZ, Philip N. “Lifting” Huron Towers, Journal of the American Concrete Institute, Junio 1960

43 Architectural Record, octubre de 1960, Pg. 206

44 Architectural Record, octubre de 1960, Pg. 206

45 Architectural Record, octubre de 1960, Pg. 206



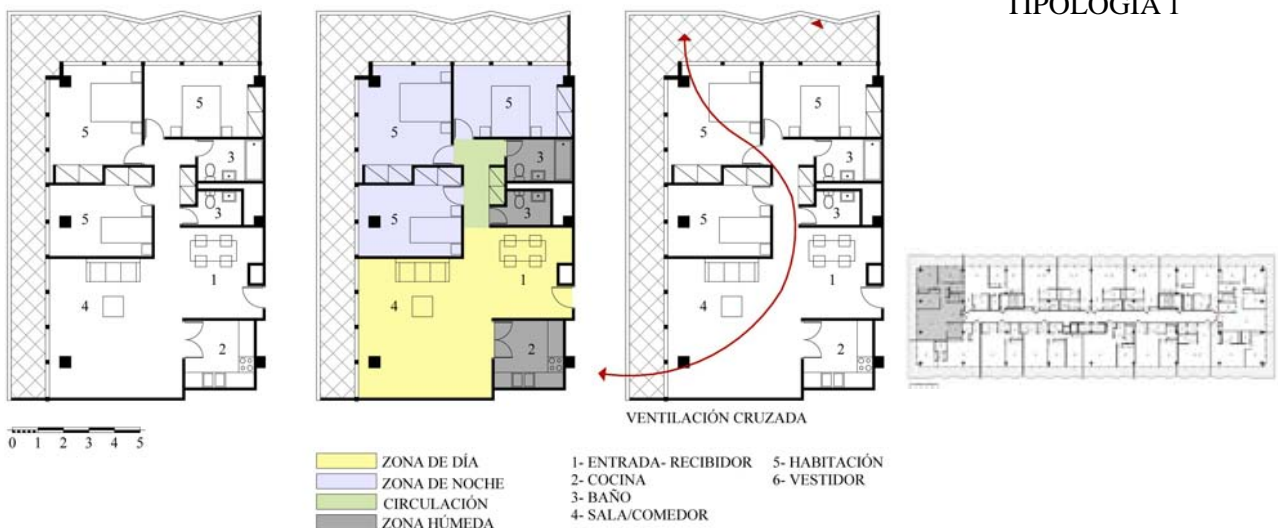
calefacción y aire condicionado. Los edificios en su conjunto se caracterizan por una claridad estructural que se refleja en sus fachadas. Los arquitectos de Huron Tower eligieron hormigón como el material principal por sus características de versatilidad de diseño arquitectónico. La escasez de acero puede ser otra razón que

condujo a esta decisión.<sup>46</sup> Es evidente la énfasis a las líneas horizontales en vez de la verticales, que se consiguió con la colocación de los pilares retrasados respecto al perímetro del edificio. Característicos son los balcones, contruidos con paneles texturados de hormigón prefabricado y los muros cortina de vidrio y acero en toda la altura de la planta que permiten la máxima transparencia al edificio. Los bordes de los forjados están moldeados en forma de zig-zag, así que los paneles de los balcones se han colocado en ángulos creando una superficie tridimensional.



Fig. 30 Planta tipo

Como se puede observar de la planta tipo (Fig. 30) en la distribución se ha considerado la agrupación de las zonas húmedas que en general se encuentra a lo largo de la zona del corredor central. Todos los demás espacios tienen un acceso directo al balcón perimetral y la máxima penetración de la luz y vistas hacia el exterior gracias al muro cortina del vidrio. Hay 15 apartamentos en cada una de las 12 plantas, que en total son 180 apartamentos por cada bloque de edificios. Además se puede observar una variedad en las tipologías de los apartamentos.

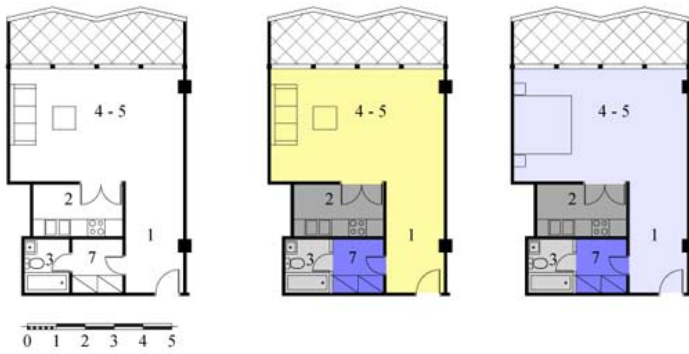




TIPOLOGÍA 2A



TIPOLOGÍA 2B

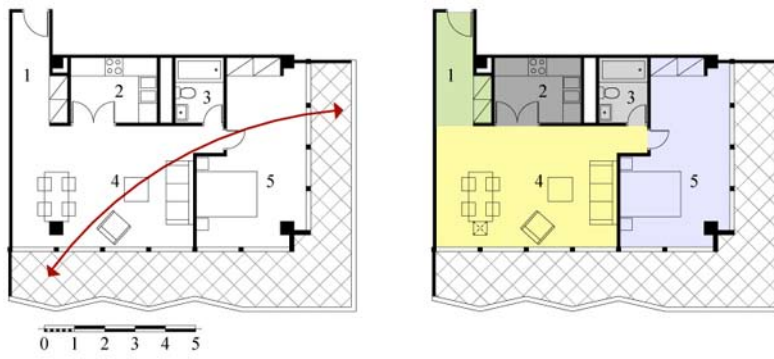


TIPOLOGÍA 3



TIPOLOGÍA 4





TIPOLOGÍA 5A



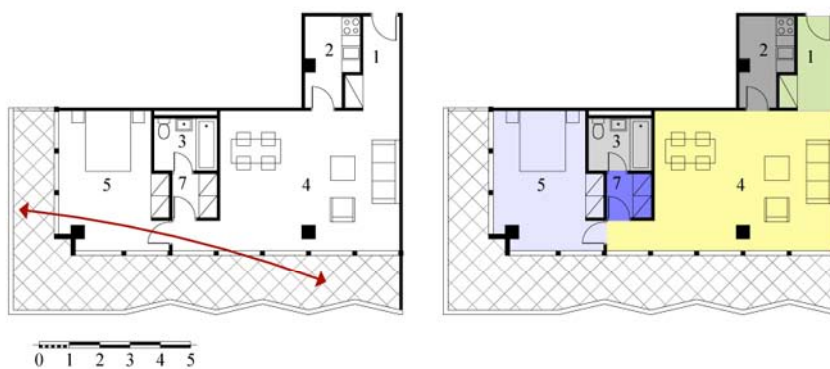
TIPOLOGÍA 5B



TIPOLOGÍA 5C



TIPOLOGÍA 5D



TIPOLOGÍA 6



#### 4.2.4.2. PROCESO CONSTRUCTIVO

##### CIMENTACIONES

Perforaciones de poca profundidad indicaron un subsuelo de arena y grava bien compactado para la mayor parte de la zona de las cimentaciones. Sin embargo, para evitar la capa de arcilla blanda cerca del río, uno de los dos edificios fue desplazado en una distancia de 50 pies (15,25 m) del emplazamiento original.

Las zapatas de las cimentaciones se diseñaron en la dirección transversal a los edificios con el fin de apoyar cuatro pilares cada una. Estas zapatas continuas tienen una longitud de 56 pies (17,10 m) y la forma de T invertida, de dimensiones 12X13 pies (3,65X3,96 m) en la base y de 5X6 pies (1,5X1,8 m) en la parte superior. Se colocaron nueve zapatas corridas en las cimentaciones de cada bloque en una distancia de 25 pies (7,62 m) entre ellas. Así en total para cada bloque hay 36 pilares articulados, en una distancia de 18X25 pies (5,48X7,62 m). Para las cimentaciones se usó hormigón de 3000 psi de fuerza compresiva.

##### FORJADOS

El perímetro de cada bloque es 70X215 pies (21,3X65,5 m). La estructura consiste en tres sótanos y 12 plantas. La planta baja y el sótano superior tienen forjados de losa de vigueta de 14 pulgadas (35,5 cm) más 2 pulgadas (5 cm) de capa de compresión. El forjado de la primera planta es de 10 pulgadas (25,4 cm) de grosor. Los siguientes 12 forjados son de 9 pulgadas (22,8 cm) de grosor porque soportan menores pesos. Todas las armaduras de los forjados se diseñaron como barras lisas, excepto unas pocas piezas donde se realizaba el anclaje.

##### NÚCLEOS Y MUROS DE SÓTANO

Dos huecos de escalera, la torre de ascensor y los conductos de instalaciones, se diseñaron y construyeron con hormigón vertido in situ, después de haber terminado con la elevación de todos los forjados. Desde los bordes de los forjados se extendieron y doblaron las barras de acero intermedias en las paredes de los núcleos. Las paredes estas portantes tienen grosores variables, de 6 pulgadas (15,2 cm) en los pisos superiores y de 10 pulgadas (25,4 cm) en los pisos inferiores. Barras de acero gruesas adicionales se colocaron en las esquinas de los núcleos para rigidizar la estructura y soportar los esfuerzos horizontales de viento.

Los muros exteriores de los sótanos tienen un grosor de 16 y 12 pulgadas (40,6 y 30,5 cm) y tal como los muros de los núcleos se construyeron insitu después de levantamiento de las losas y con el mismo tipo de anclaje de las barras de acero dobladas.



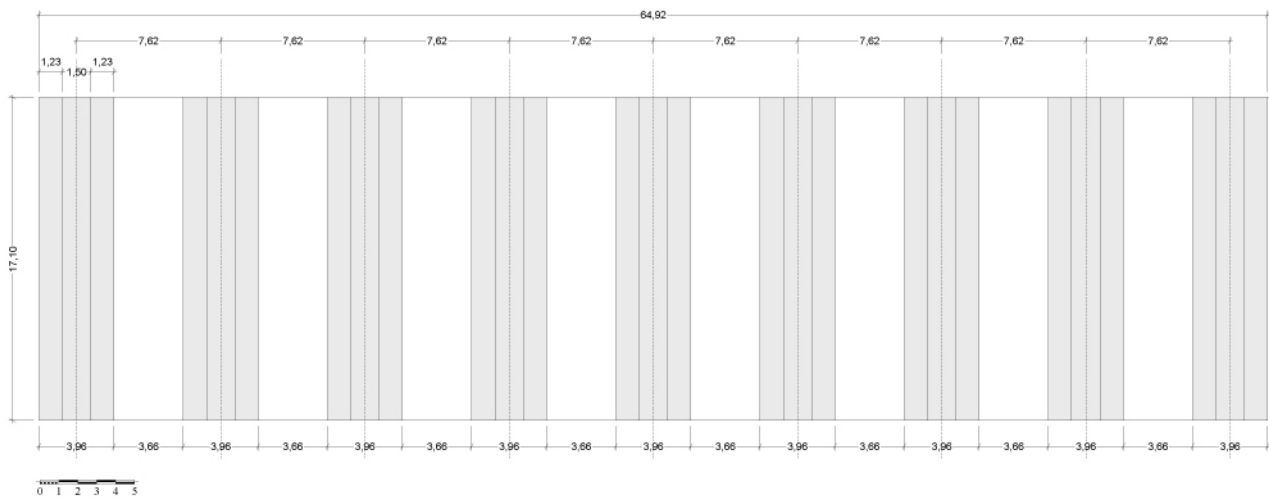


Fig. 31 Cimentaciones

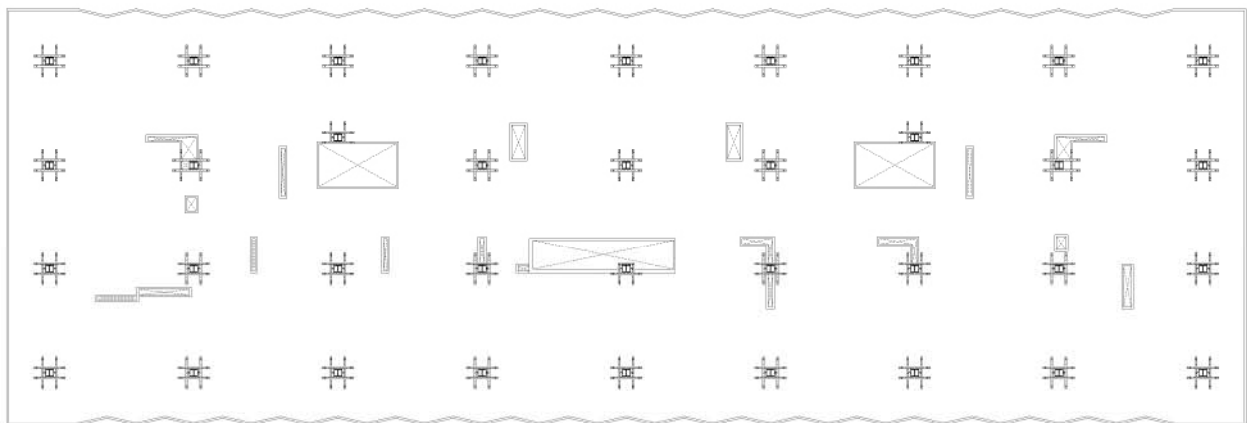


Fig. 32 Encofrados del forjado

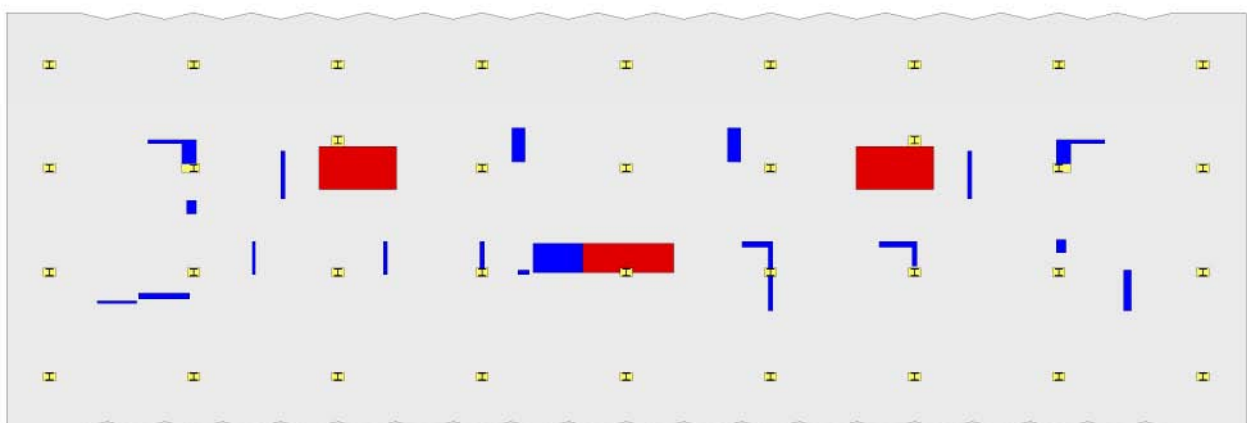


Fig. 33 Forjado vertido

- HUECOS DE LOS PILARES
- HUECOS DE LAS ESCALERAS Y ASCENSORES
- HUECOS DE LAS INSTALACIONES

#### 4.2.4.3. DISEÑO DE LIFT-SLAB

Los 12 forjados superiores fueron moldeados en la planta baja uno encima del otro y posteriormente elevados en su posición final mediante los gatos hidráulicos colocados en la parte superior de los 36 pilares. Los forjados de dimensiones de 70X215 pies (21,3X65,5 m) y peso de 820 toneladas se levantaron en pares con gatos hidráulicos que resultó que cada uno levantaba el peso de 46 toneladas. El peso total de los forjados superiores que fueron elevados fue 9840 toneladas.

En el método Lift-slab es más fácil emplear los pilares sin soporte que pueden ser de una hasta tres plantas de altura, dependiendo de su diámetro y radio de giro. Cuando empieza la operación de levantamiento normalmente se empieza con pilares sin soporte con el factor de seguridad cerca a cero. En cuanto sube el forjado superior se realiza el arriostramiento de los pilares y cuando ya el forjado está elevado en su posición final el elemento vertical se ha convertido en un pilar articulado.

El pilar sin soporte requiere un diseño especial de las conexiones entre su base y la base del apoyo. La práctica habitual es el uso de placa soldada en la base del pilar anclada a la base con cuatro pernos de anclaje. Esto da al pilar estabilidad suficiente para las fuerzas impuestas por los gatos hidráulicos durante el proceso del levantamiento. En el caso del edificio analizado, las pletinas de base eran tan pesadas que era más económico enviar las sueltas. Los cuatro niveles de los pilares varían en dimensiones, de 14WF237 hasta 14WF87. Las pletinas de la base tenían dimensiones de 4 ¾ pulgadas X 3 pies y 6 pulgadas (0,12X1 m). Estas fueron niveladas con tres pernos roscados y se fijaron a su posición final con cuatro pernos de anclaje de 1 ¼ pulgadas (3,2 cm) y 2 pies (61 cm) de longitud.

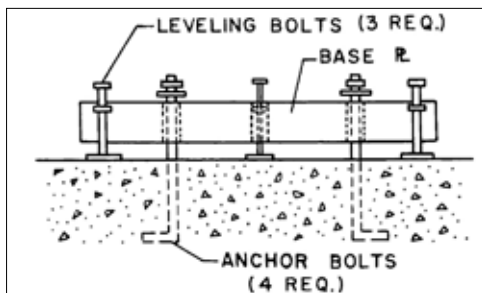


Fig. 34 Anclaje de la placa soldada en la base del apoyo<sup>47</sup>

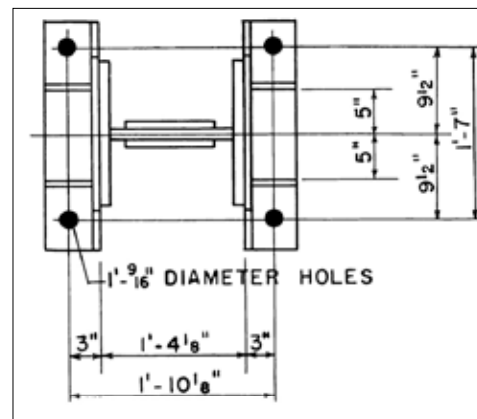


Fig. 35 Anclaje entre la base del pilar y la placa soldada (Nota 47)

La base de los pilares se reforzó con dos pletinas angulares de acero soldadas de 8 pulgadas (20,3 cm). Los pilares entonces se anclaron a las pletinas de base con pernos de anclaje que se ajustaban en las pletinas angulares.

Los anillos moldeados en los forjados permiten la conexión temporal o permanente de los forjados con los pilares. Cuando los forjados se elevaban a su posición final, dos cuñas metálicas se colocan en posición horizontal sobre los “sehar blocks” de cada pilar. Esas cuñas metálicas transmitían el peso de los collares a los

47 YOUTZ, Philip N. “Lifting” Huron Towers, Journal of the American Concrete Institute, Junio 1960, pg.1541



bloques de corte. Podían ajustarse con soldadura temporal o permanente. Las cuñas soldadas a los pilares y conectadas a los collares se establecía una continuidad suficiente para asegurar la resistencia de la estructura a las fuerzas horizontales del viento. Las particiones interiores y los muros portantes de los núcleos servían como un factor más que rigidizaba la estructura. Las losas no se pretensaron porque se consideró que esto sería un coste adicional e innecesario para la estructura del edificio.

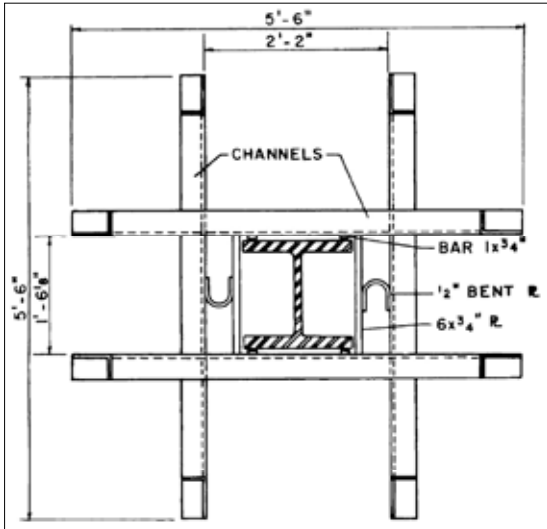


Fig. 36 Detalle de la conexión entre el anillo de forjado y el pilar<sup>48</sup>

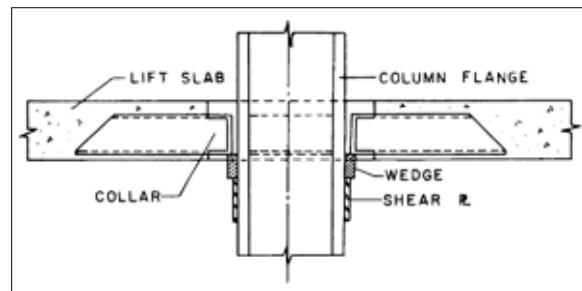


Fig. 37 Detalle de la conexión entre el anillo y el pilar<sup>49</sup>

#### 4.2.4.4. LA OPERACIÓN DEL IZADO

1. Se instalaron los primeros niveles de los pilares articulados. En este caso eran pilares de tres plantas de altura.
2. En seguida se pulveriza el forjado bajo del último nivel que será elevado, que en este caso es la parte superior de la planta baja, con cera, parafina o plástico. Esto asegura de que el forjado no se quede pegado al forjado inferior.
3. Se colocan los anillos alrededor de los pilares. Estos sirven para la colocación de las barras de suspensión que bajan desde los gatos hidráulicos, y permite la conexión temporal de las losas con los pilares, tal como la soldadura permanente entre ellos cuando las losas están en su posición final. Estos collares fueron soldados de vigas UPN de 6 pulgadas (15,2 cm). Los extremos de las vigas UPN se cortaron en ángulos de 45° con el fin de ahorrar el material.
4. Se realizan las conexiones de los anillos con los pilares a través de insertar las cuñas de acero soldadas entre la parte inferior de los anillos y la parte superior de las chapas de soporte de acero de 12X7 pulgadas (30,5X17,8 cm). Esta misma conexión se realizaba cuando los forjados se colocaban en su posición temporal durante la operación de empalme de los pilares, pero las cuñas de acero se soldaban permanentemente solo en su posición final.

48 YOUTZ, Philip N. “Lifting” Huron Towers, Journal of the American Concrete Institute, Junio 1960, pg.1542

49 YOUTZ, Philip N. “Lifting” Huron Towers, Journal of the American Concrete Institute, Junio 1960, pg.1543

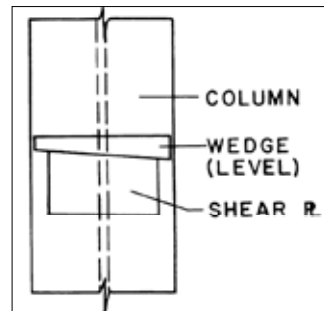


Fig. 38 Detalle la cuña de acero y la chapa de soporte (Nota 50)

5. El siguiente paso es colocar los encofrados en el perímetro de los forjados y alrededor de los huecos que tenían dejarse para la construcción de escaleras, ascensores y los conductos de instalaciones. La armadura de los forjados se realiza en la manera convencional.
6. Se vierte el hormigón del forjado, se compacta, se nivela con renglones y se llana.
7. Se colocan las barras de suspensión, que llegan abajo de los gatos hidráulicos colocados en la parte superior de los pilares, en los collares.
8. Este proceso se repite para el resto de los 11 forjados, que se vierten uno encima del otro.
9. El izado de los forjados se realizó usando 36 gatos hidráulicos colocados en la parte superior de cada pilar. Los forjados se elevaron en pares. Este proceso fue sincronizado automáticamente de la consola. Los gatos hidráulicos estaban conectados en serie con circuitos eléctricos.



Fig. 39 Carpa plástica para la protección de las losas en invierno<sup>50</sup>

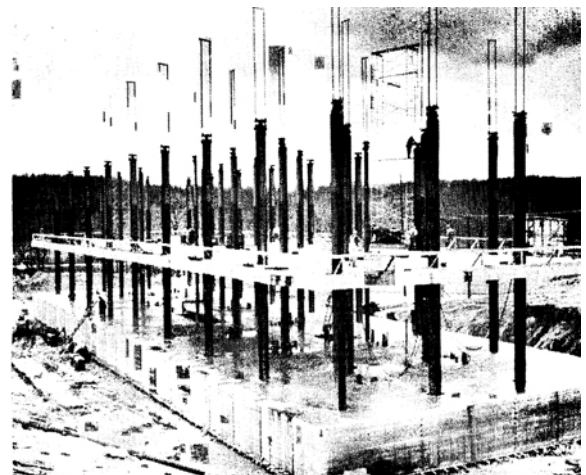


Fig. 40 La operación del izado de las primeras dos losas juntas<sup>51</sup>

50 YOUTZ, Philip N. “Lifting” Huron Towers, Journal of the American Concrete Institute, Junio 1960, pg.1548

51 YOUTZ, Philip N. “Lifting” Huron Towers, Journal of the American Concrete Institute, Junio 1960, pg.1544

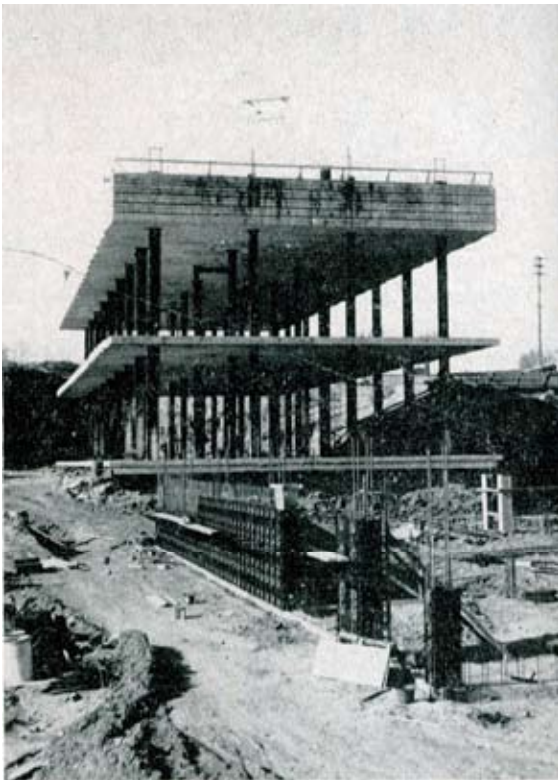


Fig. 41 Operación del izado en el segundo nivel de Los pilares articulados<sup>52</sup>



Fig. 42 Operación del izado completada para una de Las dos torres<sup>53</sup>



Fig. 43 Vista del conjunto: Huron Tower, 2010

<sup>52</sup> Architectural Record, octubre de 1960, Pg. 206

<sup>53</sup> YOUTZ, Philip N. “Lifting” Huron Towers, Journal of the American Concrete Institute, Junio 1960, pg.1547

## 5. ANÁLISIS. PREFABRICACIÓN “INSITU”- TÉCNICA DE ENCOFRADO DESLIZANTE

Un método para la construcción de edificios en altura que ganó en popularidad en los años '60 basado en la construcción de un núcleo central a través de la técnica de encofrado deslizante, y luego a construir las losas en voladizo. La forma de encofrado deslizante usada en los EEUU en esta época es la similar a la forma europea conocida como “Sistema Concreto- Prometo”.<sup>56</sup>

Se conoce con el nombre de encofrado deslizante a una técnica de construcción de obras de hormigón armado o pretensado sin juntas frías, donde los procesos de armado, encofrado, hormigonado y desencofrado son realizados de forma simultánea y continua y no de forma secuencial como se desarrolla en las técnicas habituales de construcción.<sup>57</sup>

Los encofrados verticales se dividen en dos categorías principales: los que dependen de grúa y los independientes. Los encofrados deslizantes pertenecen a la segunda categoría. Permiten la realización de un hormigonado continuo en muros de gran altura y caras paralelas. El encofrado deslizante sube progresivamente e implica la realización conjunta de las operaciones de colocación de armaduras y el vertido seguido del hormigón, por capas de 25 cm. No hay anclajes o pernos que atraviesen el hormigón para aguantar el encofrado, ya que se apoya por un tubo o barra lisa colocado verticalmente, en la parte del hormigón ya fraguado. La elevación del sistema se efectúa por medio de gatos hidráulicos o neumáticos, fijados al bastidor, a distancias de entre 1,8 y 2,4 m. El gato, al girar, arrastra al bastidor verticalmente. La barra lisa de acero queda embebida en el hormigón, para que al aplicar presión, el tubo arrastre al marco. Los gatos se conectan a la misma bomba de presión. Generalmente son de doble cara, de tableros de pequeña altura (1.00 m x 1.20 m) con la misma forma geométrica que la estructura a construir, y un marco y dos montantes que separan los tableros. La velocidad de ascensión varía entre los 5 y los 30 cm, en función del tipo de cemento, temperatura ambiente, etc., lo que supone ejecutar etapas de entre 2 y 5 m. diarios. Este encofrado también dispone espacio para andamios, maquinaria, etc. El sistema de inmovilización de tableros no puede contar con el arriostramiento interno de codales y tirantes, por movilidad. Por lo que se garantiza con sofisticados sistemas que encarecen el encofrado. La puesta en obra del hormigón debe ejecutarse sin interrupción. Por lo que el proceso de trabajo debe programarse para las 24 horas. El problema es asegurar la progresión por igual en todo el perímetro. Para ello, los gatos tienen que estar perfectamente sincronizados y mandados por un solo grupo hidráulico. Aunque la verdadera dificultad de este encofrado es la necesidad de una mano de obra cualificada.<sup>58</sup>

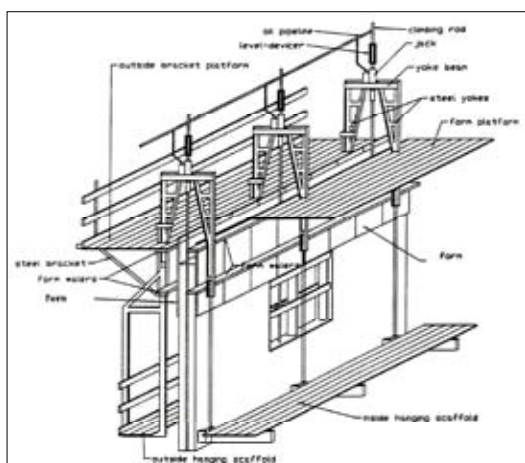


Fig. 44 Esquema de encofrado deslizante.<sup>59</sup>

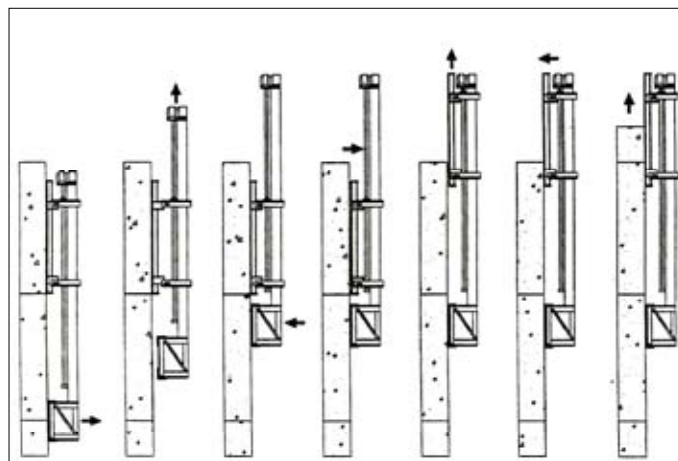


Fig. 45 Esquema del proceso constructivo.<sup>60</sup>

56 DIAMANT, R.M.E., Industrialised Building: 50 International Methods, 1964, London: Liffie Books, Pg. 109

57 [http://www.edytesa.es/recursos/doc/Area\\_descarga/Documentacion\\_Tecnica/3614\\_306306201010110.pdf](http://www.edytesa.es/recursos/doc/Area_descarga/Documentacion_Tecnica/3614_306306201010110.pdf)

58 Escuela Politécnica de Cuenca, Unidad Temática 2, Lección 05, Encofrados De Elementos., <https://www.eupc.uclm.es>

59 HANNA, Awad S., Concrete formwork systems, New York ; Basel : Marcel Dekker, 1999, Pg. 211

60 HANNA, Awad S., Concrete formwork systems, New York ; Basel : Marcel Dekker, 1999, Pg. 226

### 5.1. CONDICIONES DE APLICACIÓN

Para la correcta ejecución de los trabajos empleando este método, se requieren unas condiciones mínimas que se resumen en:

- Continuidad en las tareas de hormigonado y colocación de armaduras.
- Correcta organización del equipo humano y de suministro de materiales.
- Formación, responsabilidad y disciplina del personal a realizar las tareas.

#### 5.1.2. TRES MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS EN ALTURA CON ENCOFRADOS DESLIZANTES<sup>61</sup>

- En el primer método se realiza la erección del núcleo completamente independiente de los forjados. Primero se construye el núcleo a través de la técnica de encofrado deslizante y después se construyen los forjados.
- El segundo método es un proceso continuo e incremental a lo largo de la ejecución de la obra. Consiste en construir el núcleo a base de la lógica una planta por día (floor- a -day) durante un período de cinco a diez días, y luego empezar a construir los forjados hasta el mismo nivel que el núcleo.
- Por último, el tercer método consiste en llevar a cabo las operaciones de encofrado y la construcción de los forjados de forma simultánea a base de la lógica de haber completado una planta entera en una operación (one- floor- at - a - time). Este método se usa cuando el núcleo no es estable completamente por si mismo y necesita apoyo adicional y horizontal de los forjados.

#### 5.1.3. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Ventajas:

El método del encofrado deslizante presenta una serie de ventajas frente a los métodos habituales de construcción, tales como:

- Ejecución continua de la estructura, con ausencia de juntas frías, característica especialmente importante en ejecución de estructuras de almacenamiento de líquidos y gases.
- Reducción del plazo de ejecución, al realizar se la estructura sin paradas.
- Eliminación de tiempos muertos, al realizar se todas las tareas de forma simultánea (no consecutiva).
- Velocidad de ejecución, con rendimientos entre 3 y 6 m/día.
- Calidad superior de la obra, debido al monolitismo.

61 TAYLOR, P.E., Thomas W. “Slipformed Core Construction”, <http://es.scribd.com/doc/46649983/Slipform-Core>



- Economía de materiales, debido a su estandarización y reutilización.
- Construcción de obras de gran altura sin utilización de andamios.
- Reducción y facilidad de las labores de acabado.
- Elevación simultánea de estructuras pesadas (cubiertas, etc.) y elementos auxiliares (grúa torre, etc.)
- Versatilidad. Las formas de los encofrados deslizantes se pueden diseñar para casi todos los tipos de geometría.
- Reutilización. Los encofrados deslizantes se pueden reutilizar hasta 50 veces.

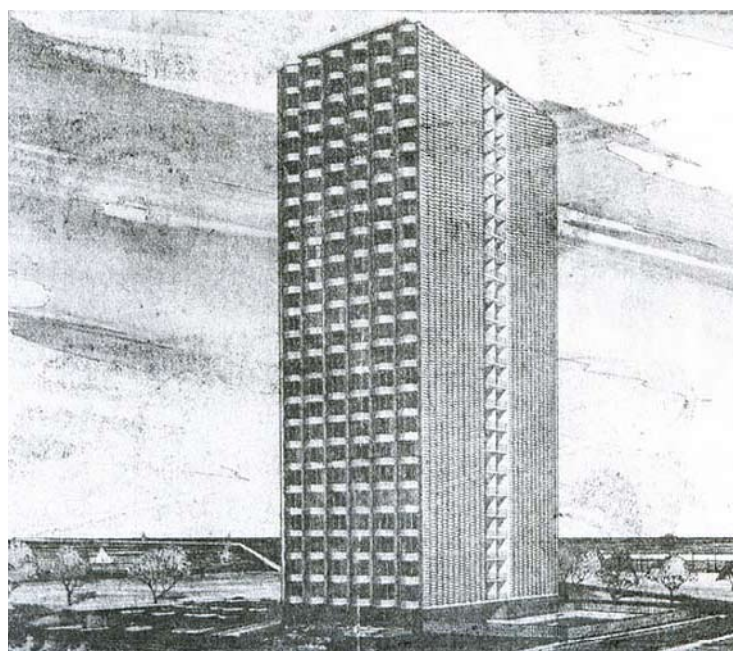
Limitaciones:

- Se necesita mano de obra cualificada.
- El solar tiene que ser accesible, porque las piezas del encofrado llegan preensambladas y pueden ser grandes de tamaño.
- El Primer nivel del muro tiene que construirse con las técnicas convencionales de encofrado.
- El coste inicial de los encofrados deslizantes es muy elevado.
- Es económicamente viable solo para las estructuras de mínimo de 20 plantas de altura .
- Cambio de la sección del muro o desplazamiento horizontal es un coste adicional.
- Al ser el trabajo continuo se ha de disponer de varios turnos de trabajo, exige un control muy cuidadoso del hormigón, ha de haber un control cuidadoso de los suministros de hormigón y de su tipología y hay que evitar paradas en la producción que pueden producir discontinuidades.



**5.2. CASO DE ESTUDIO 2: EDIFICIO DE APARTAMENTOS EN BAY WAY, MILWAUKEE**

Arquitectos	Rasche, Shroder & Spransy
Ingeniero estructural	Lev Zetlin & Associates
Contratista	Joseph P. Jansen Co. , J.M. Camellerie
Emplazamiento	Bay Way. Milwaukee, Wisconsin
Año de construcción	1964
Sistema constructivo	Muros portantes de hormigón armado mediante la técnica de encofrado deslizante
Nº de plantas	25

Fig. 43. Vista del edificio en construcción<sup>62</sup>Fig. 44. Alzado Norte <sup>63</sup>**5.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Edificio de apartamentos de 25 plantas en Bay Way, Milwaukee, 1964. Total de apartamentos 147. La estructura del edificio que en la planta ocupa 78X103 pies (23,77X31,40 m) fue construida en 35 días, usando 9.000 pies cuadrados (2.743,2 m<sup>2</sup>) de encofrado deslizante elevado por 147 gatos hidráulicos. Además de 650 pies (198,12 m) de pared, formado por el encofrado deslizante de 4 pies de altura (1,22 m), 12 formas curvadas de fibra de vidrio de longitud de 13 pies (3,96 m) fueron usadas para producir los elementos decorativos debajo de las ventanas. El edificio se construyó en el terreno con la capacidad portante de 2,500 lb/pies cuadrado (3.720,45 kg/m<sup>2</sup>). Usando el concepto de los muros portantes se construyeron las cimentaciones de la losa flotante de espesor de 4 pies (1,22 m) con extensiones de 15 pies (4,57 m).

Los lados de edificio de 80 pies (24,38 m) de longitud, se limitan por las paredes con formas curvadas, mientras los otros dos lados son paredes sólidas separada cada una con un agujero central de 18 pies (5,48 m). Dos muros interiores portantes, se extienden en cada dirección del edificio, se interseccionan para formar una cuadrícula de tres espacios en cada dirección, dividiendo la planta en nueve celdas. Las seis celdas en los lados extremos de los lados más cortos del edificio contienen los apartamentos. La celda central contiene el

<sup>62</sup> ARCHITECTURAL RECORD, Agosto de 1964, Pg. 157

<sup>63</sup> <http://bayviewcompass.com/archives/874>

ascensor, mientras las dos celdas restantes se han dejado parcialmente abiertas sirviendo como patios para los cuatro últimos apartamentos. En la parte estrecha del edificio los pilares se han construido de tal manera que la distancia entre las vigas curvadas fuera de 13 pies (3,96 m).

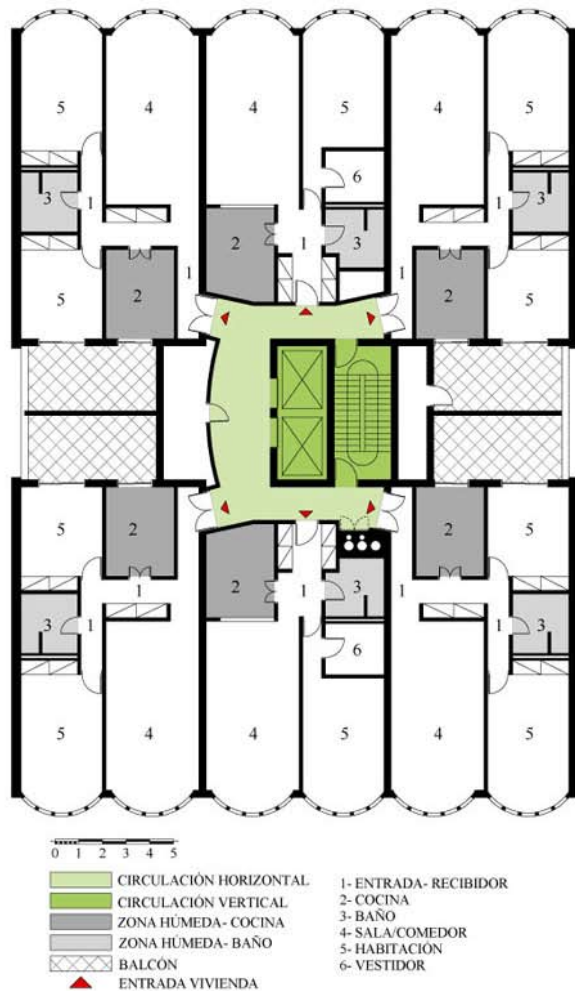


Fig. 45 Planta tipo

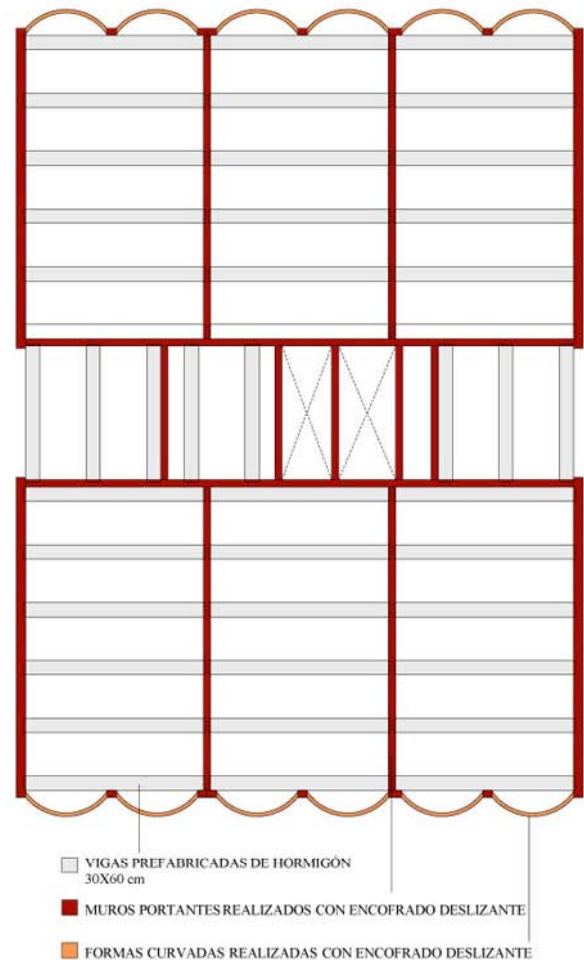
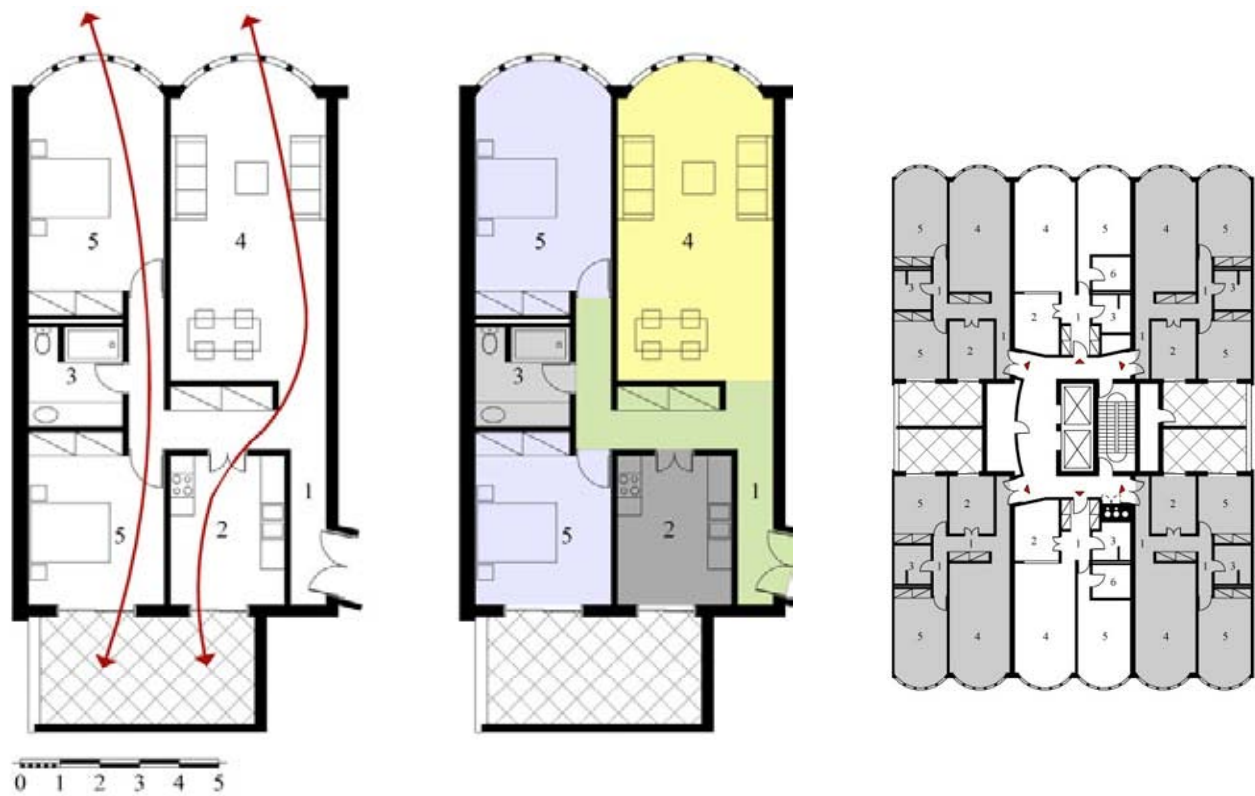


Fig. 46 Planta de la estructura

En cada planta hay seis apartamentos, de los cuales los cuatro situados en los extremos del edificio tienen dos habitaciones y balcón privado, mientras los dos centrales son de una habitación. Así que en total hay dos distintas tipologías que se repiten en cada planta. No se observa la agrupación de las zonas húmedas tanto al nivel del conjunto del edificio, tanto como al nivel de la vivienda.

## TIPOLOGÍA 1



## TIPOLOGÍA 2



ZONA DE DÍA  
 ZONA DE NOCHE  
 CIRCULACIÓN  
 ZONA HÚMEDA

1- ENTRADA- RECIBIDOR    5- HABITACIÓN  
 2- COCINA    6- VESTIDOR  
 3- BAÑO  
 4- SALA/COMEDOR



### 5.2.2. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN

Después de la construcción de las cimentaciones se procedió a la colocación del encofrado deslizante. La forma usada fue de 4 pies (1,22 m) de profundidad formada por dos plataformas. La plataforma inferior, también denominada como plataforma de hormigón es el nivel donde se vierte el hormigón, mientras la función de la plataforma superior, denominada como plataforma de acero, fue a proporcionar el área de almacenamiento para las barras de acero de refuerzo. Estas barras se trasladaban a mano hacia la plataforma de hormigón. La plataforma superior también servía como la plataforma para el operador de la grúa. 147 Gatos hidráulicos, con doble pistón y capacidad de levantamiento de 3 toneladas cada uno, elevaban el encofrado. Con el bombeo del aceite a los gatos, los pistones inferiores empujan hacia abajo en las barras de soporte ancladas en los muros de hormigón del edificio. Con la presión hidráulica se abren los pistones superiores y toda la forma del encofrado se puede mover en la distancia de 1 pulgada (2,54 cm) hacia arriba. Las válvulas automáticas de retorno entonces abren y la presión hidráulica empieza a caer. Los pistones superiores se cerraban, aguantando el encofrado en la nueva altura. Tres bombas hidráulicas se usaron operando en una presión de 1,500 lb/sq se usaron para la construcción del edificio. La escalada de grúa que pesaba 29 toneladas de capacidad de 5,500 libras (2494.758 kg) fue levantada por seis gatos, cada uno con capacidad de seis toneladas. La grúa de torre servía para levantar las vigas prefabricadas, las armaduras y otros materiales auxiliares.

Todas las paredes exteriores y las medianeras, cajas de escaleras y ascensores, el hormigón arquitectónico exterior, tanto como las formas curvadas debajo de las ventanas, se construyeron insitu a través de los encofrados deslizantes. El hormigón fue vertido en el encofrado desde arriba, y todos los refuerzos de acero y formas curvadas se colocaban al mismo tiempo. Vigas prefabricadas ancladas en los muros sirven como soporte para los forjados Así se evitó el uso de los puntales. (Fig. 47)



Fig. 47 Vigas prefabricadas como soporte del forjado (Nota 62) Fig. 48. Uno de los 147 gatos hidráulicos.<sup>64</sup>

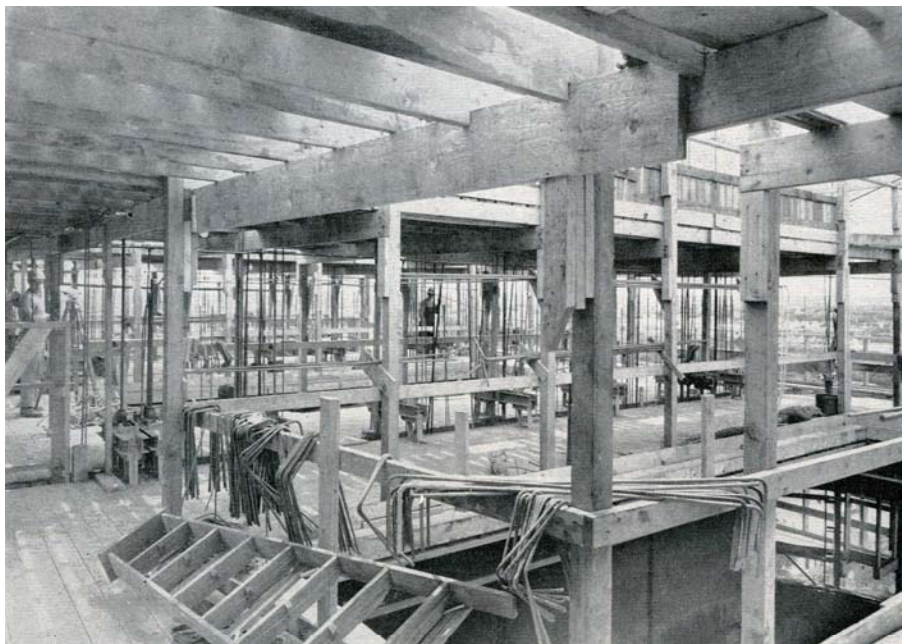


Fig 49 Vista interior de la plataforma de doble cara. (Nota 63)

### 5.2.3. MÉTODO DEL MOLDEO

Desde las 16:00 hasta las 20:00, el encofrado deslizante se levantaba alrededor de 8 pulgadas por hora (20,3 cm/h). Entre las 3:00 hasta las 10:00, las vigas prefabricadas de hormigón se colocaban con la ayuda de la grúa de torre. Durante el día, los forjados de hormigón se vertían en los encofrados, soportados por las vigas prefabricadas. Los elementos para colocación de armaduras, montaje de puertas, ventanas y las vigas prefabricadas del forjado se colocaban continuamente durante la noche, mientras el encofrado deslizante se elevaba. Las vigas prefabricadas que se usaron para la construcción de los forjados fueron de una longitud de 25 pies (7,62 m) y se lanzaban por las aberturas en la plataforma al nivel adecuado. Se colocaban entonces en posición de modo que sus extremos encajaban en las cajas prefabricadas de acero previamente insertadas durante la ejecución del muro a través de la técnica de encofrado deslizante. Estas cajas de acero tienen dimensiones 1X2 pies (30,48X60,96 cm) están soldadas para asegurar la conexión entre las vigas y el muro portante. La armadura de los forjados son unas piezas de malla de acero de dimensiones de 6X12 pies (1,83X3,56 m). Las placas de yeso prefabricado del falso techo fue directamente colocado en la parte inferior de del encofrado de madera que se usó para la construcción del forjado.

### 5.2.4. ESCALADA DE GRÚAS

Para las fuerzas horizontales, para evitar el vuelco de la grúa hacía los lados, se elaboró un orden de distribución especial de tal manera que existiera una distancia constante de 26 pies (7,93 m) entre la cuerda inferior de la pluma y la plataforma superior del encofrado deslizante. La grúa se instaló entre cuatro vigas de acero apoyadas sobre la caja del ascensor. Estas vigas, que soportaban las barras de gatos de 1 ½ pulgadas (45, 72 cm), dejaban una abertura de 4X4 pies (1,22X1,22 m) para el mástil. Las cargas verticales de la grúa, debidas al peso propio y al izado de la carga ,se resuelven con un marco de elevación de acero colocado al nivel correspondiente a la plataforma inferior del encofrado deslizante. Las barras de suspensión soportan los marcos deslizantes a intervalos de 20 pies (6 m) hasta el mástil.

El edificio se construyo en una velocidad de una planta por día.





Fig 50. Vista del edificio en 2011 (Nota 63)



Fig. 51 (Nota 63)



Fig 52. Elementos decorativos de hormigón texturado (Nota 63)



Fig 53. Vista desde el interior de uno de los apartamentos (Nota 63)

**5.3. CASO DE ESTUDIO 3: EDIFICIO DE APARTAMENTOS 5730 SHERIDAN BUILDING**

Emplazamiento	Chicago, Illinois
Año de construcción	1963
Sistema constructivo	Núcleo central de escaleras y ascensores mediante la técnica de encofrado deslizante. Forjados insitu con encofrados horizontales telescópicos: Rex- Spanall
Nº de plantas	17

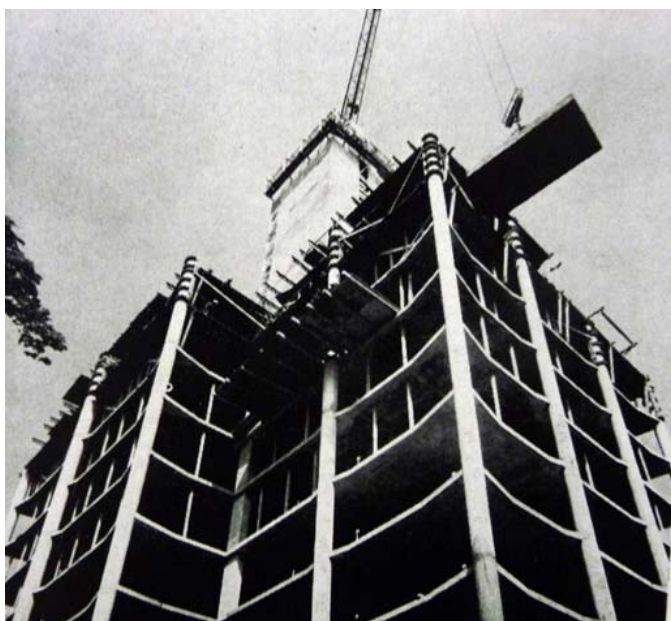
Fig. 50 Vista del edificio en construcción <sup>64</sup>

Fig. 51 Vista del edificio en construcción (Nota 64)

**5.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El núcleo central, que contiene los ascensores, las escaleras y la mayoría de los servicios comunes, se construyó con la técnica de encofrado deslizante. La grúa alemana Linden fue anclada sobre el encofrado para poder subir, mientras el núcleo se estaba construyendo y de tal manera que su giro posible fuera de 360°. Las dimensiones de la estructura central son de 26 pies con 23 pies y 8 pulgadas (7,90X7,20 m) y las dimensiones de las losas 77 pies con 87 pies (23,5X26,5 m) que se anclan en voladizo de este núcleo central. La losa de la primera planta tiene el espesor de 12 pulgadas (30 cm), mientras las losas de los demás pisos tienen el espesor de 8 pulgadas (20 cm). Las losas se conectan a 18 pilares perimetrales que rodean el edificio en el exterior. La función básica de estos pilares es el diseño del edificio y no estructural. Los soportes extra de las losas se encuentran en el interior del edificio en la forma de los pilares de hormigón insitu, contruidos al mismo tiempo con las losas.

En la construcción de las losas, se usó la grúa para el manejo del proceso de hormigonado y para el levantamiento de los encofrados de planta a planta. La base de este sistema eran las unidades denominadas como Rex- Spanall, unidades telescópicas de estructura sólida de acero, capaces de agarrarse a los caballetes de cruz. Estas unidades se pueden adaptar a cualquier luz y son capaces de soportar mayores pesos de hormigón que los soportes de madera convencionales. Para las luces de hasta 8 pies (2,44 m), se emplearon unidades

<sup>64</sup> DIAMANT, R.M.E. Industrialised Building : 50 International Methods, London : Iliffe Books, 1964, Pg. 109

del modelo Rex- Spanall 610, y para las losas de hasta 15 pies (4,57 m) se emplearon unidades Rex- Spanall 1015. Además se han usado 70 caballetes de soporte de madera, de dimensiones 8 pies con 10 pies (2,44X3 m). Los travesaños superiores e inferiores estaban conectados por montantes de 4X4 pulgadas (10X10 cm), y la estructura se reforzó con 6X1 pulgadas (15X2,5 cm) tableros diagonales.

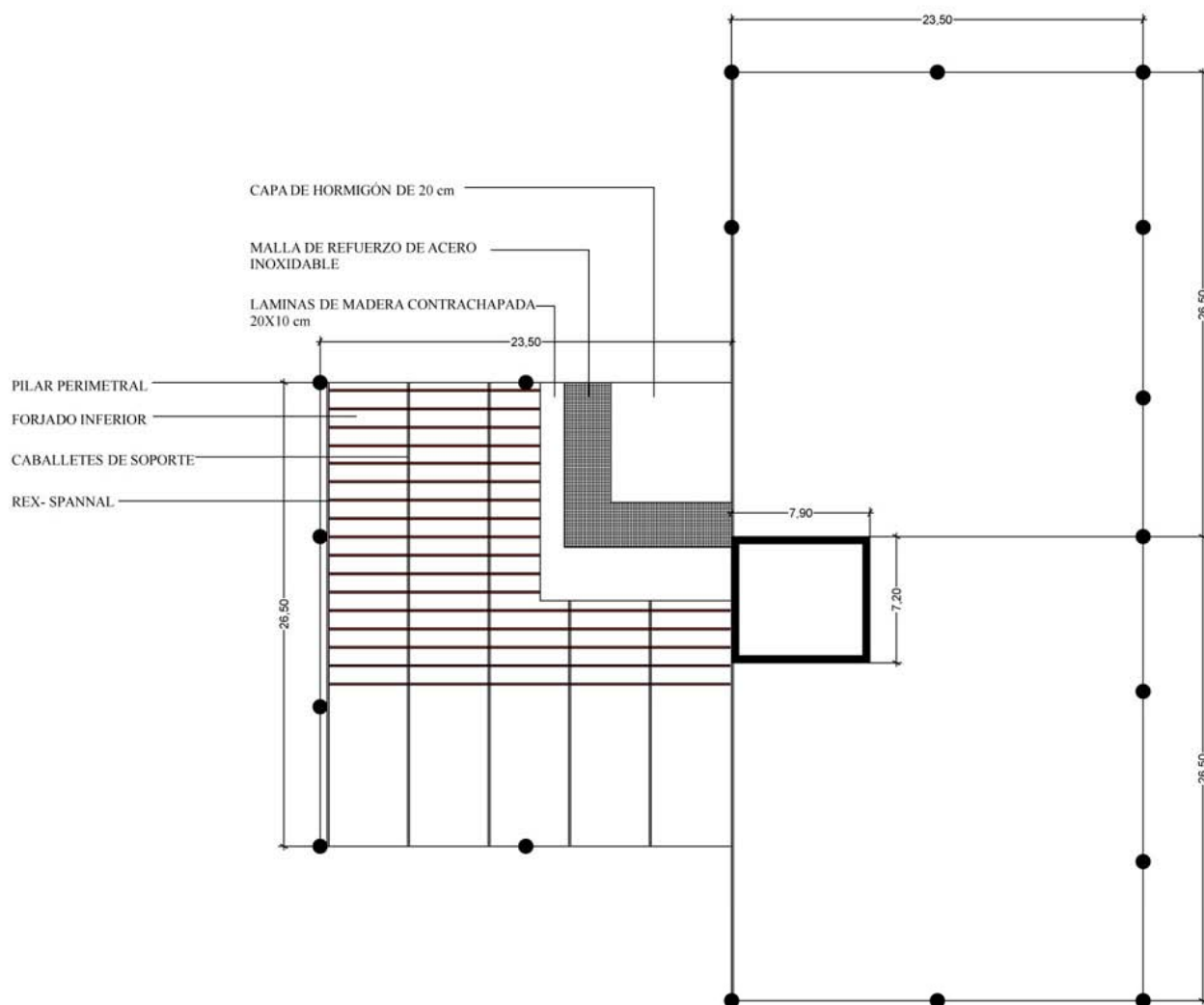


Fig. 52 Planta tipo esquemática

### 5.3.2. LA CONSTRUCCIÓN DE LAS LOSAS DEL FORJADO

Una vez acabada la construcción del núcleo central empezaron a construirse las losas de los forjados de hormigón armado insitu. Las losas se construyeron de abajo hacia arriba. Cuando se acababa con la construcción de las losas de una planta, los caballetes de esta planta se desplazaban por medio de la grúa anclada en el encofrado del núcleo central, en grupos de tres. Estos caballetes entonces se fijaban en líneas paralelas con un espacio de 15 pies (4,57 m) entre sí. La altura exacta de los caballetes podría ser ajustada a las necesidades de cada planta. En seguida se colocaban las conexiones de cruz. Con la ayuda de la grúa se levantaban las unidades de Rex- Spanall para luego colocarlas encima de los caballetes.

Cada unidad de Rex- Spanall podrían manejar la sin complicaciones solo dos personas. Las unidades Rex- Spanall se ajustaban en la parte superior de los caballetes con una distancia de 3 pies y 2 pulgadas entre sí (96 cm) con el solape de 10 pulgadas (25,4 cm), con el lado plano hacia arriba. Encofrado de madera contra-



chapada con acabado de plástico, en forma de laminas de 8X4 pies (20X10 cm) se colocaba entonces encima de las unidades Rex- Spanall. La alineación, rectitud y planeidad de las losas se aseguraba con el hecho de que las unidades Rex- Spanall estaban arqueadas para permitir la desviación de carga bajo el peso de la losa.

El encofrado de la madera contrachapada para la parte externa de los forjados tenían los moldes extremos sujetos. Después de introducir la malla de refuerzo de acero inoxidable, podría empezar el vertido del hormigón. Se aplicaba el proceso del curado del hormigón de las losas del forjado de 24- 36 horas y se dejaba reposar durante unas 24 horas más para endurecer. Cuando se terminaba el curado y endurecido del forjado, un hombre desataba las unidades Rex- Spanall, mientras otro retiraba los conectores de los caballetes. Las unidades Rex- Spanall entonces se recogían en su dimensión mínima y se removían, se apliaban y ya estaban listos para ser levantados con la ayuda de la grúa a la siguiente planta.

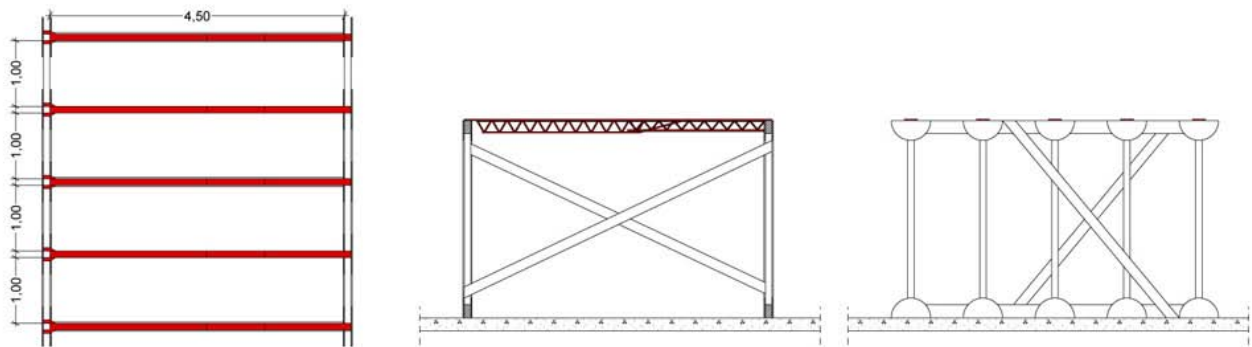


Fig. 53 Planta y alzados de la estructura de los caballetes y unidades Rex-spanall



Fig. 54 Unidades Rex-spanall colocados sobre los caballetes



Fig. 55 Las unidades Rex- Spanall en su posición<sup>65</sup>



Fig. 56 (Nota 65)



Fig. 57 (Nota 65)

### 5.3.3. LAS VENTAJAS DEL SISTEMA REX- SPANALL

- Ahorro en uso de madera para los encofrados.
- Ahorro del coste y tiempo al nivel de mano de obra en el proceso de desencofrado. Durante la construcción del edificio analizado, era posible construir una planta cada dos días, mientras el ritmo de la construcción habitual en la época en los EEUU era una planta por semana.
- El uso de las unidades Rex- Spanall deja más espacio libre que en un método convencional de encofrado, así que otros trabajos como de electricidad e instalaciones se pueden realizar en el mismo tiempo con la construcción de las losas del forjado.
- Las unidades Rex- Spanall tenían la capacidad de reuso unas 200 veces y su forma telescópica permitía que fueran usadas en obras con diferentes luces.

65

DIAMANT, R.M.E. Industrialised Building : 50 International Methods, London : Iliffe Books, 1964, Pg. 110



## 6. ANÁLISIS. CONSTRUCCIÓN CON COMPONENTES PREFABRICADOS

### 6.1. CASO DE ESTUDIO 4: TÉCNICA KATSELAS- GINSERT, EDIFICIO DE APARTAMENTOS EN PITTSBURG

Arquitecto	Taso Katselas
Ingeniero	Brentnall Gensert
Emplazamiento	Pittsburg Pennsylvania
Año de construcción	1963
Sistema constructivo	Pilares y losas de hormigón pretensado
Coste de construcción	9.8 \$ /m <sup>2</sup> (para la estructura)
Nº de plantas	3

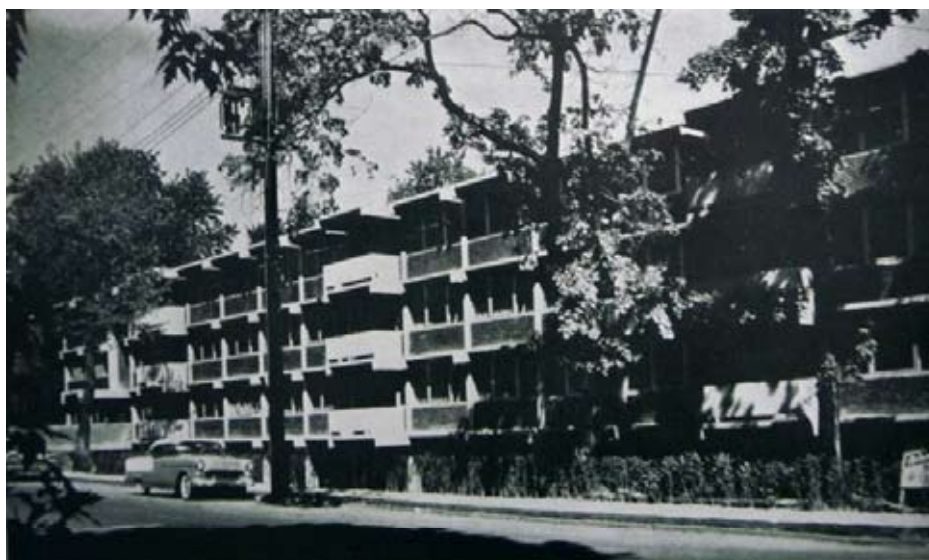
Fig. 58 Vista del edificio <sup>66</sup>

Fig. 59 (Nota 66)

El edificio consiste de tres plantas con un número se 22 viviendas y un aparcamiento situado en el sótano del edificio con una capacidad de 24 vehículos.

#### 6.1.1.DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Solo dos tipos de los componentes estructurales fueron empleados en la construcción de este edificio:

- Pilares prefabricados de hormigón pretensado, de sección de 12X18 pulgadas (30X46 cm), de longitud del forjado de la planta baja a techo final del edificio que es de 38 pies (11, 58m). Estructuras especiales de acero están moldeados en cada uno de los pilares y anclados contra los cables pretensados. Estas estructuras soldadas de acero tienen agujeros para permitir el anclaje con las losas de los forjados.
- Las losas de los forjados que tienen una anchura de 10 pies y 8 pulgadas (3,25 m) y se construyen en tres diferentes longitudes: 29 pies (8,84 m), 32 pies y 9 pulgadas (9,98 m) y 25 pies (7,62 m). En cada planta se emplearon 21 forjados de longitud de 29 pies, 7 forjados de longitud de 32 pies y 9 pulgadas y 2 forjados de 25 pies (7,62 m).

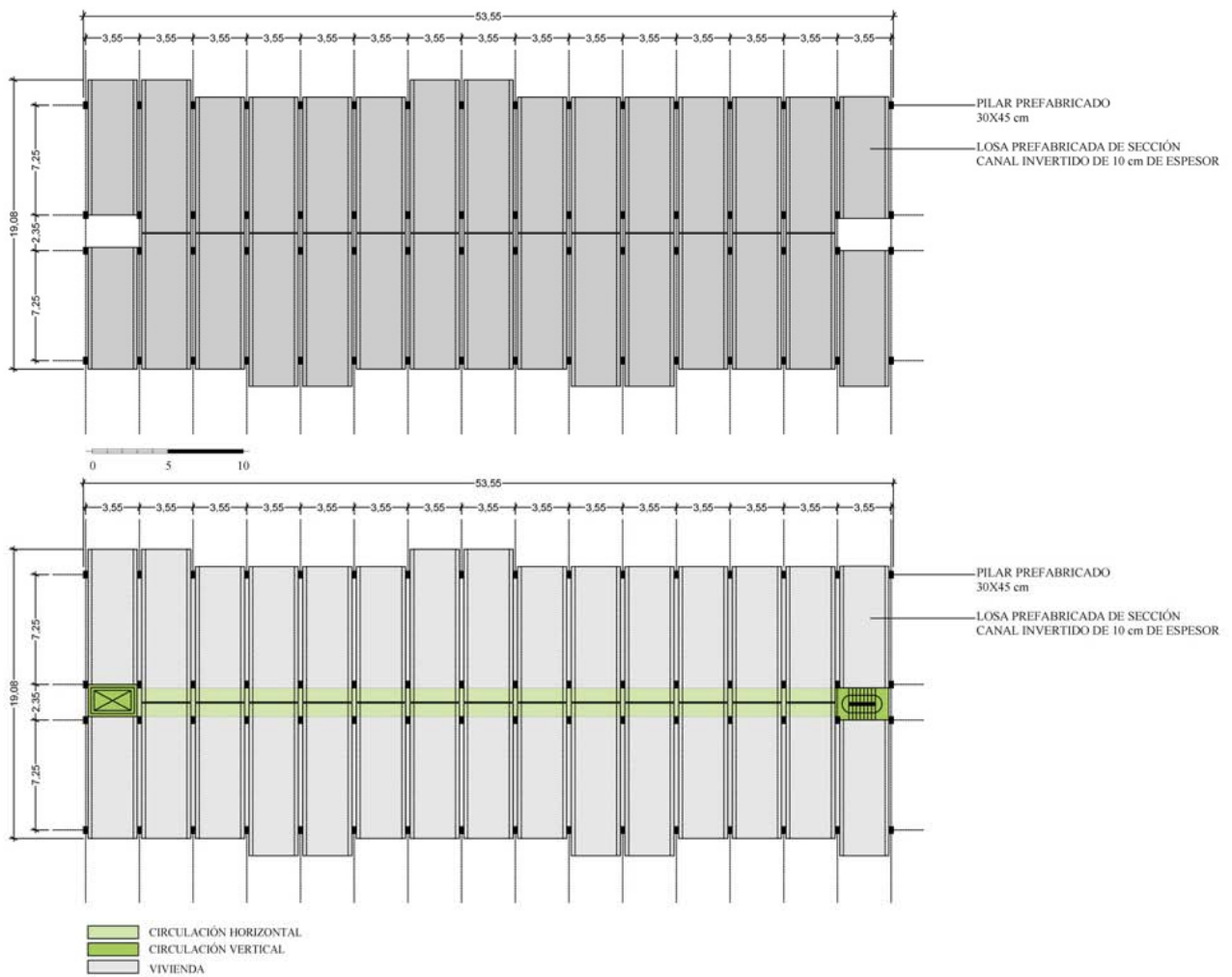


Fig. 60 Plantas esquemáticas: constructiva y de distribución

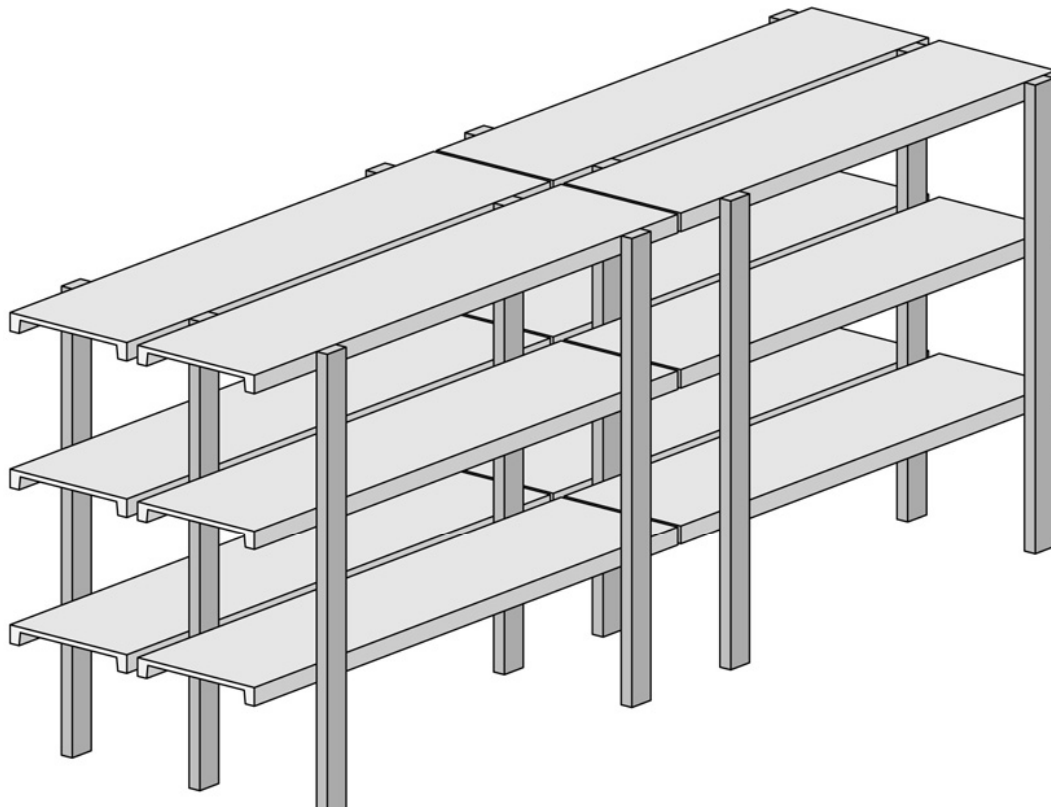


Fig. 61 Detalles de conexión de los elementos prefabricados

Las losas de los forjados están moldeadas en la forma de sección del canal invertido con el espesor de 4 pulgadas (10 cm) y el máximo espesor de las alas invertidas de 14 pulgadas (35,5 cm). Están reforzadas con las mallas de acero inoxidable. Tal como en el caso de los pilares, en las losas se emplearon la incorporación de las cajas soldadas de acero, moldeadas y ancladas a la malla del refuerzo. Estas permiten la conexión entre los pilares y los forjados.

El moldeo de los pilares y los forjados se había realizado cerca de la obra, vertidos en los encofrados de madera. Se empleó el ciclo de curado de 24 horas. Los bordes de los forjados tienen ranuras en las ambas direcciones. En el caso de las ranuras en el sentido longitudinal, estas son de  $\frac{3}{4}$  de una pulgada Con  $3\frac{5}{8}$  pulgadas (2X9 cm), mientras las ranuras en el sentido transversal son superficiales de 1 pulgada (2,5 cm) de profundidad y rebajadas a una anchura de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas (3,8 cm). Cuatro piezas soldadas de roscas están insertadas en cada placa de forjado en las que se pueden ajustar los tornillos para permitir el levantamiento de los forjados por las grúas móviles. La colocación de los pilares se realizó por las mismas grúas.



Fig.62 y 63 Los forjados prefabricados<sup>67</sup>

Los pilares de las cimentaciones forman la base de las unidades verticales que se construyeron en intervalos de 11 pies y 8 pulgadas (3,55 m) de eje a eje en el sentido longitudinal, y que forman tres franjas en el sentido transversal de: 23 pies y 9 pulgadas (7,24 m), 7 pies y 9 pulgadas (2,36 m) y 23 pies y 9 pulgadas (7,24 m). La franja central tiene la función del corredor entre las dos franjas a los extremos del edificio donde se colocan las viviendas. En una parte extrema del corredor está situado el ascensor y en la otra las escaleras

67 DIAMANT, R.M.E. Industrialised Building : 50 International Methods, London : Iliffe Books, 1968, Pg. 102



comunitarias.

Los pilares prefabricados se apoyan a los pilotes de las cimentaciones con cuatro pernos de anclaje y ocho tuercas. Doble tuerca por tornillo permite un mejor control de la verticalidad de los pilares. El anclaje entre los forjados y los pilares se realiza con atornillado de piezas gruesas de hierro que se ajustan a los pre-moldeados agujeros con inserciones de acero en ambos elementos, previamente descritos.

La longitud de un forjado típico es de 29 pies (8,84 m), y colocadas en la posición final ancladas con los pilares, se traslapan un pie (30 cm) del borde los pilares. La distancia esta sirve como el cabezal de las ventanas. Los forjados que tienen longitud de 32 pies y 9 pulgadas (9,98 m) actúan como balcones en voladizo y se extienden 4 pies y 9 pulgadas (1,45 m) de los bordes de los pilares. Cuando los forjados están en su posición final, colocados y anclados a los pilares, se quedan huecos de 12 pulgadas (30 cm) entre forjado y forjado en la dirección longitudinal y de 3 pulgadas (7,6 cm) a lo largo de sus juntas centrales, excepto de los dos forjados extremos que forman un hueco de 7 pies (2,13 m). Este vacío de 7 pies se usa para incorporar las escaleras y el ascensor. Los huecos longitudinales se cierran con la colocación de encofrados donde se vierte una mezcla de cemento reforzado con barras de acero ancladas en los extremos de los forjados. Los huecos entre los forjados en el centro del edificio, entre las franjas, también se resuelven de la misma manera.

El resto del edificio se completó con las técnicas constructivas tradicionales. El coste de la estructura del edificio era menor que 3\$ por pie cuadrado (9,84 \$ por m<sup>2</sup>).

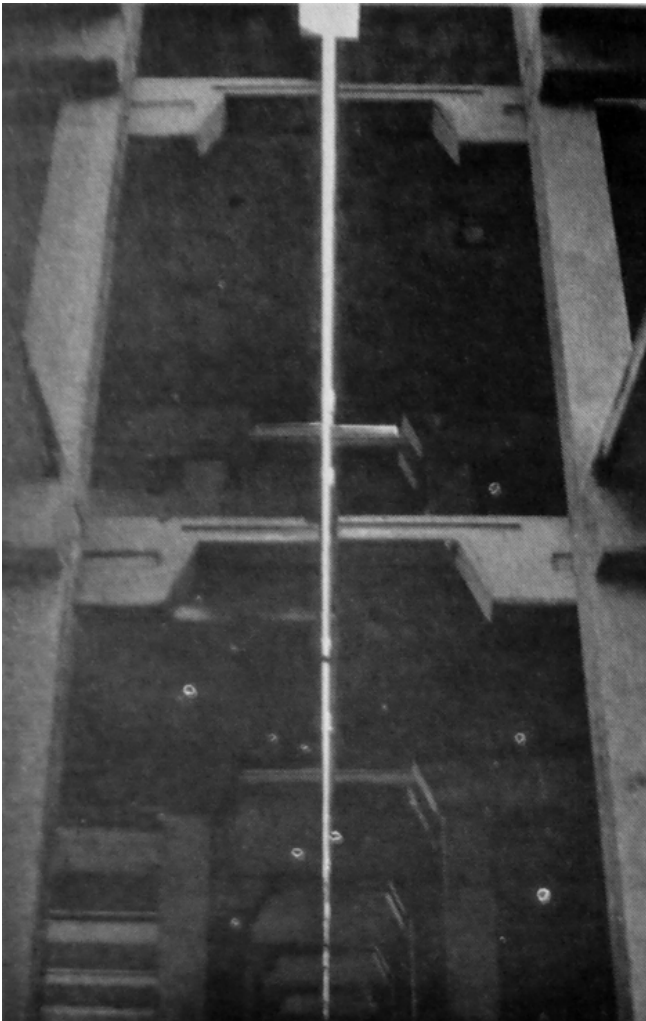


Fig. 64 Detalle de los forjados (Nota 67)

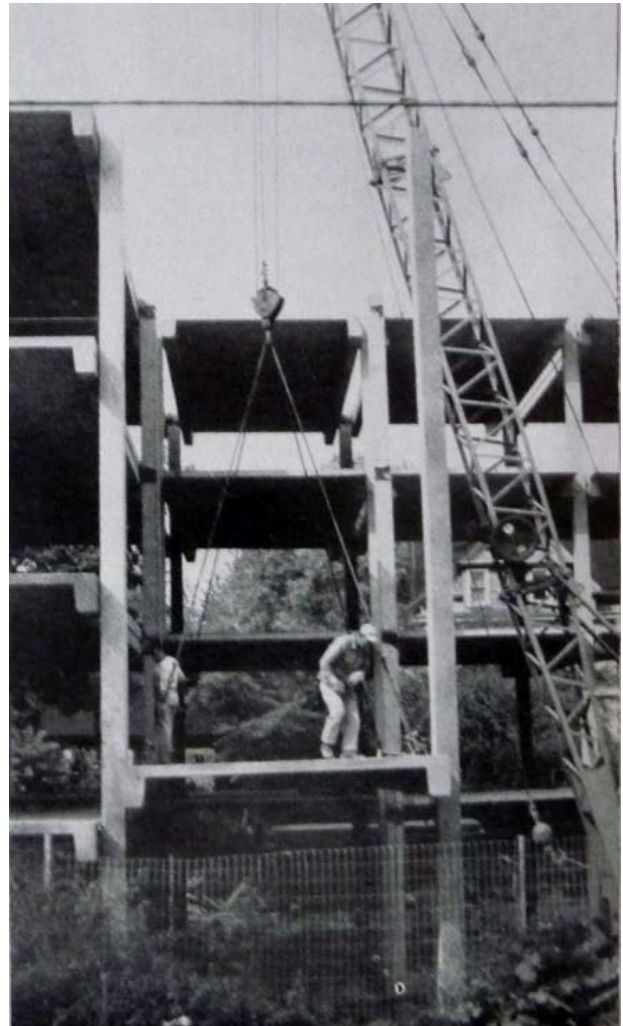
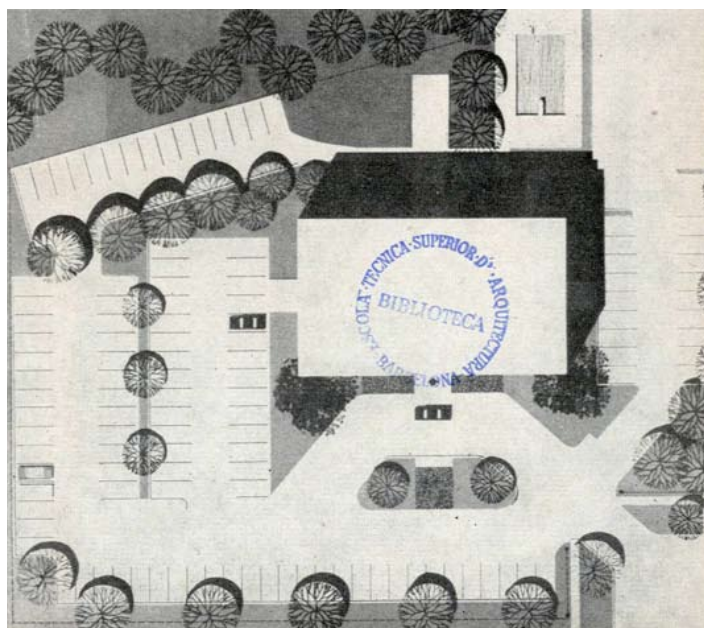


Fig. 65 Proceso del montaje (Nota 67)

## 6.2. CASO DE ESTUDIO 5: DEARBORN TOWERS

Arquitecto	King & Levis Inc.
Ingeniero estructural	Raymond C. Reese
Contratista	Barton- Malow
Propietario	Dearborn Towers Co- Partnership
Emplazamiento	Dearborn Michigan EEUU
Año de construcción	1963
Sistema Constructivo	Sistema mixto: Fachada resistente y muros a cortante. Forjado: Losa plana. Divisiones: convencionales.
Nº de plantas	15

Fig. 67 Vista del edificio Dearborn Towers <sup>68</sup>Fig. 68 Emplazamiento <sup>69</sup>

### 6.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Diseñado por los mismos arquitectos del caso de estudio 1 de Huron Towers, King & Lewis, este proyecto resuelve las mismas ideas y consideraciones; de la máxima libertad en la distribución de los espacios interiores de las viviendas y máxima permeabilidad, a través de técnica completamente diferente. Mientras para la construcción del edificio de Huron Towers se usó la técnica “Lift- Slab”, lozas levadizas, en este proyecto se usó el sistema constructivo con paneles prefabricados de fachada portantes y núcleos de escaleras y ascensores junto con pilares y muros interiores portantes de hormigón armado in-situ.

El edificio Dearborn Towers está ubicado en una distancia próxima al río, Rouge River en Dearborn, en Michigan. Es un edificio de 11 plantas de altura con 10 viviendas por planta y un total de 100 viviendas. La idea del proyecto tal como lo describe el arquitecto Harry S. King (Nota 69), es el diseño de una estructura que destacase la verdadera filosofía del hormigón, volviendo al concepto de las técnicas de construcción del pasado basadas en muros portantes. Así la idea fue eliminar los pilares del exterior del edificio y permitir la máxima libertad de las distribuciones en los interiores de las viviendas. Con el uso de las tecnologías innovadoras de construcción en hormigón, tanto prefabricado como in-situ, esta idea se llevó al cabo.

<sup>68</sup> ARCHITECTURAL RECORD, Agosto de 1964, Pg. 160

<sup>69</sup> ARCHITECTURAL RECORD, Agosto de 1964, Pg. 161



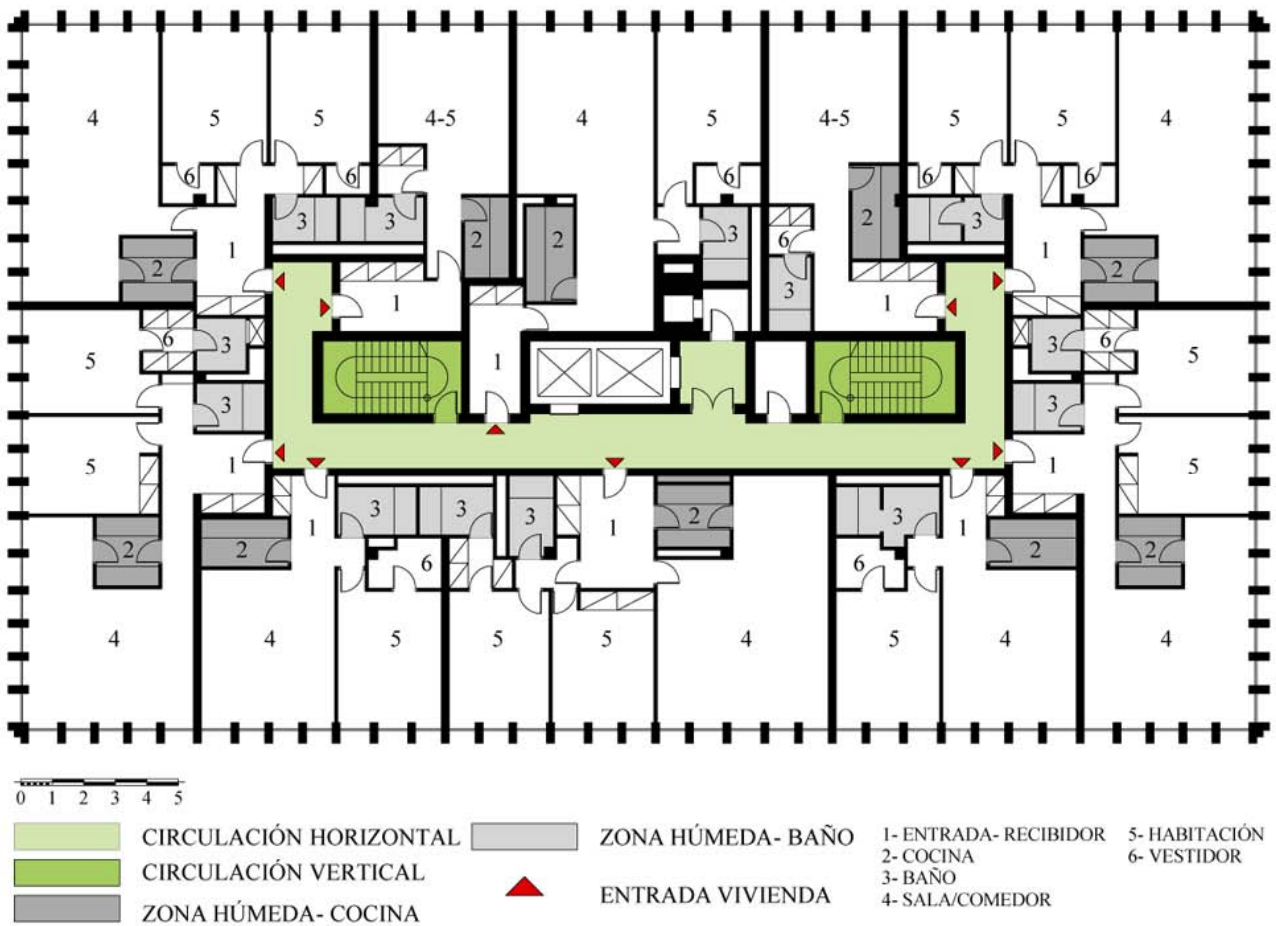
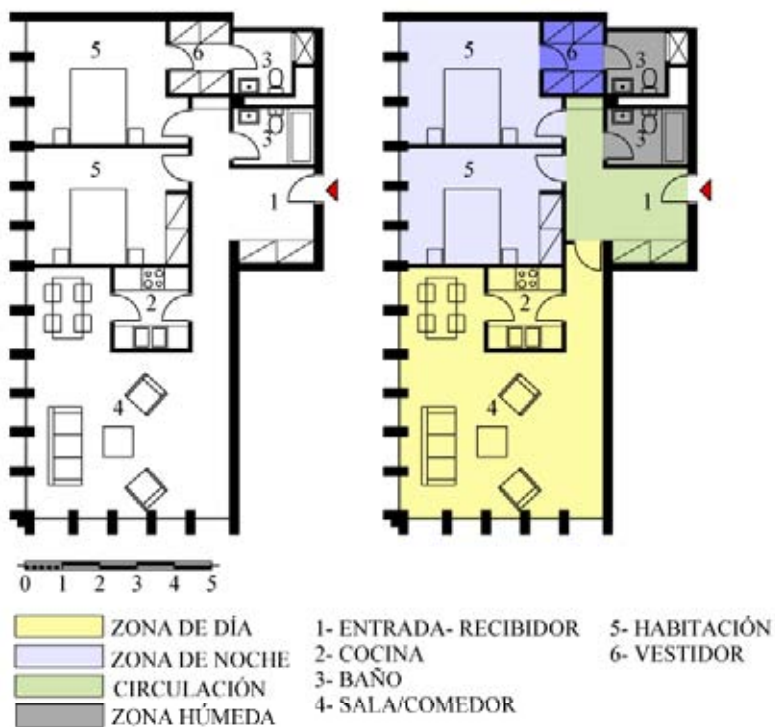
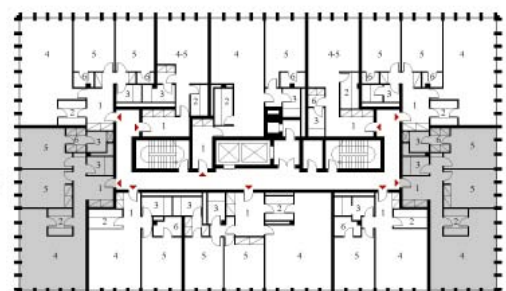


Fig. 69 Planta tipo

Tal como en el proyecto Huron Towers, las viviendas se distribuyen alrededor de un corredor central que contiene los núcleos de las escaleras, ascensores e instalaciones. Se puede observar la consideración de la agrupación de los espacios húmedos en el conjunto del edificio. En total en cada planta hay siete diferentes tipologías de vivienda, desde estudios hasta apartamentos de una, dos y tres habitaciones.

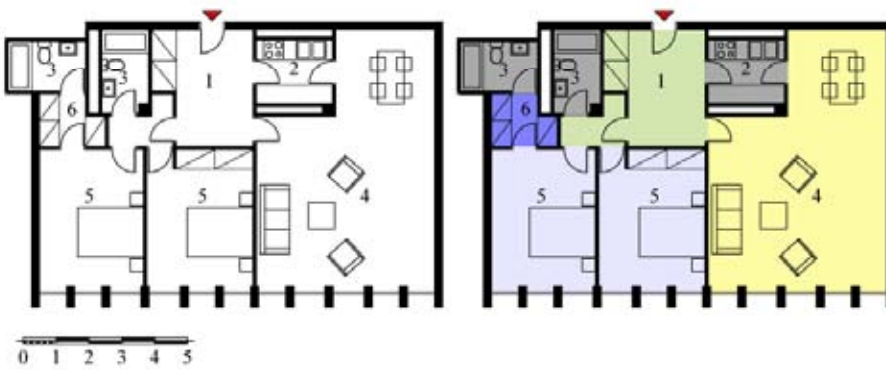


TIPOLOGÍA 1

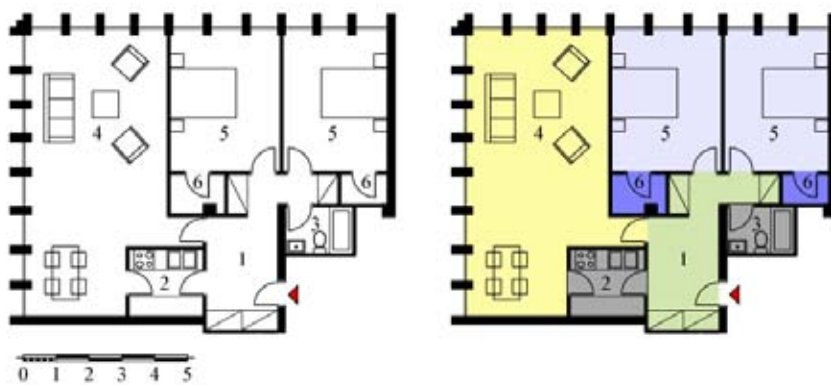




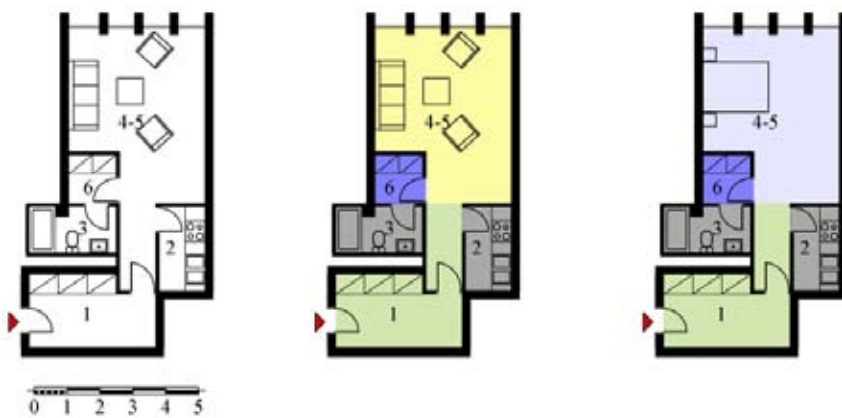
TIPOLOGÍA 2



TIPOLOGÍA 3



TIPOLOGÍA 4



TIPOLOGÍA 5





### 6.2.2. ELEMENTOS DE ESTRUCTURA

El exterior del edificio está construido con paneles prefabricados en función de fachada resistente. Estos elementos son unos paneles que tienen dimensiones de 18 pies y 4 pulgadas (5,60 m) de longitud y 9 pies (2,75 m) de altura. Estos paneles tienen una doble función, al ser tanto elementos decorativos como estructurales. Soportan las cargas verticales de los forjados y de los paneles superiores. El sistema con fachadas resistentes es una solución económica porque no necesita soportes externos, ni vigas ni muros resistentes a cortante. Sin embargo en este proyecto todos los muros transversales divisorios de las viviendas y el núcleo de comunicación está construido con muros de carga de hormigón armado. El resto de la estructura se resolvió con pilares de hormigón in situ de 40X40 cm y forjados de losas planas in situ de 20 cm. Otra ventaja de las fachadas resistentes es que se consigue un cerramiento completo desde las primeras etapas en el lugar de trabajo.<sup>70</sup>

La carga vertical de las fachadas de las 10 plantas superiores se reparte a través de la viga perimetral “spandrel” que transmite las cargas a través de los pilares a la tierra.

<sup>70</sup> Estructuras de edificación prefabricadas / FIP, Madrid : ATEP, DL 1996

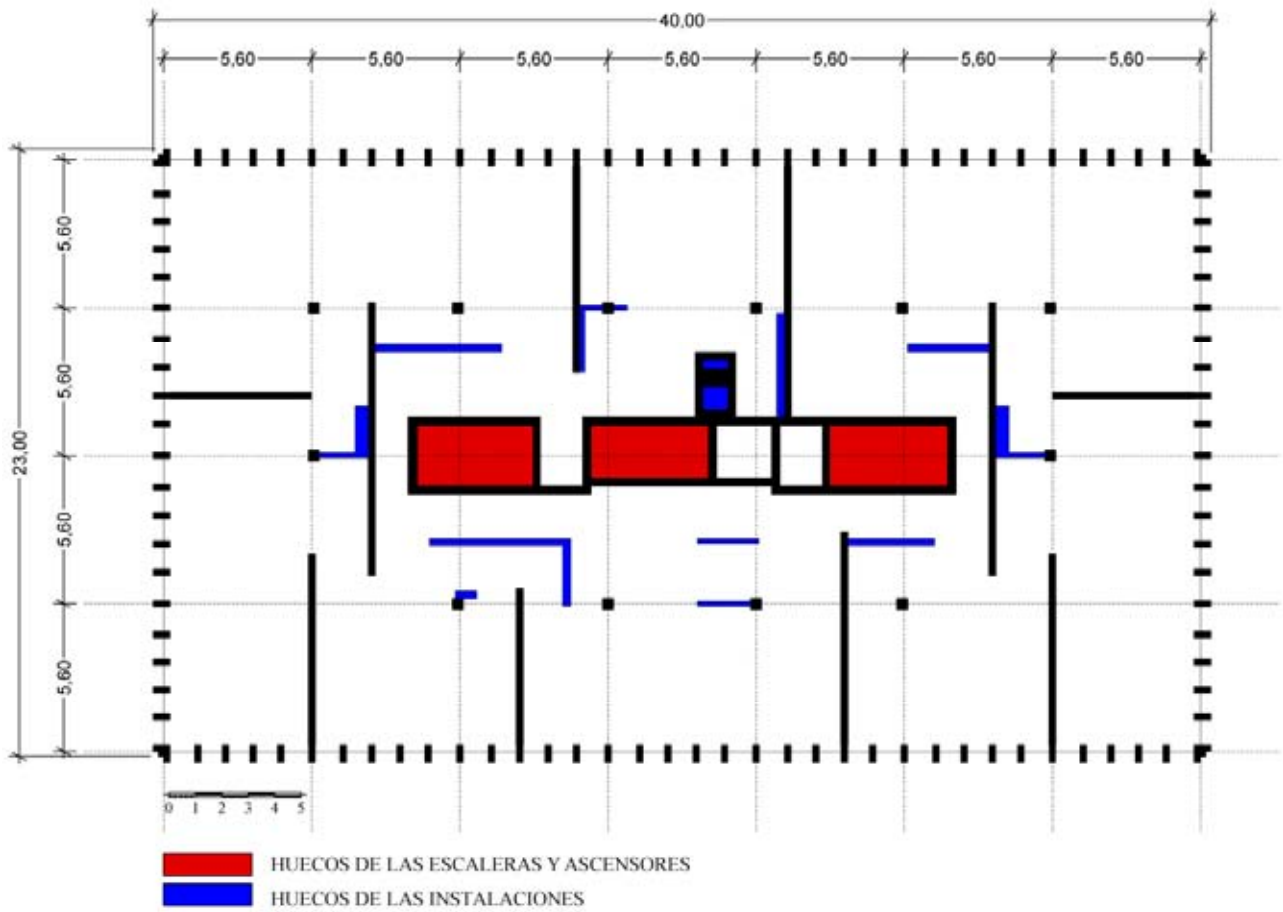


Fig. 70 Planta: esquema de la estructura

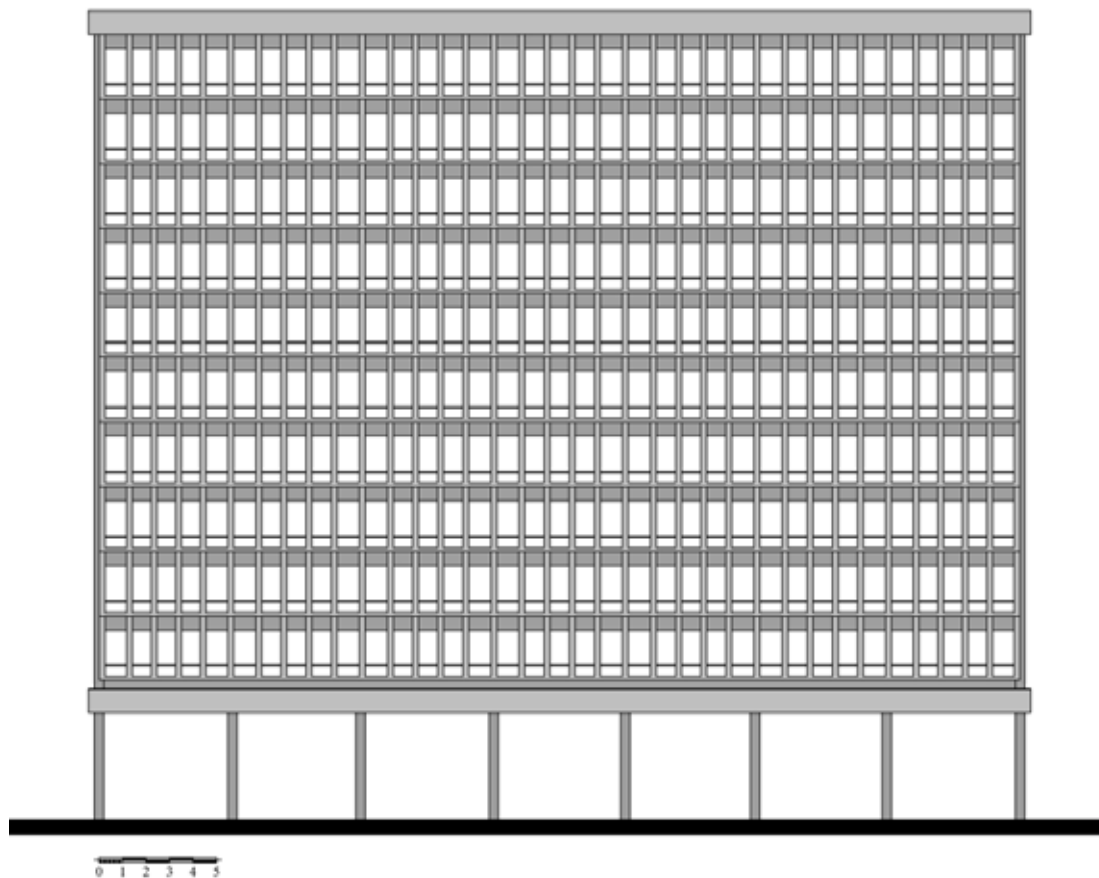


Fig. 71 Alzado

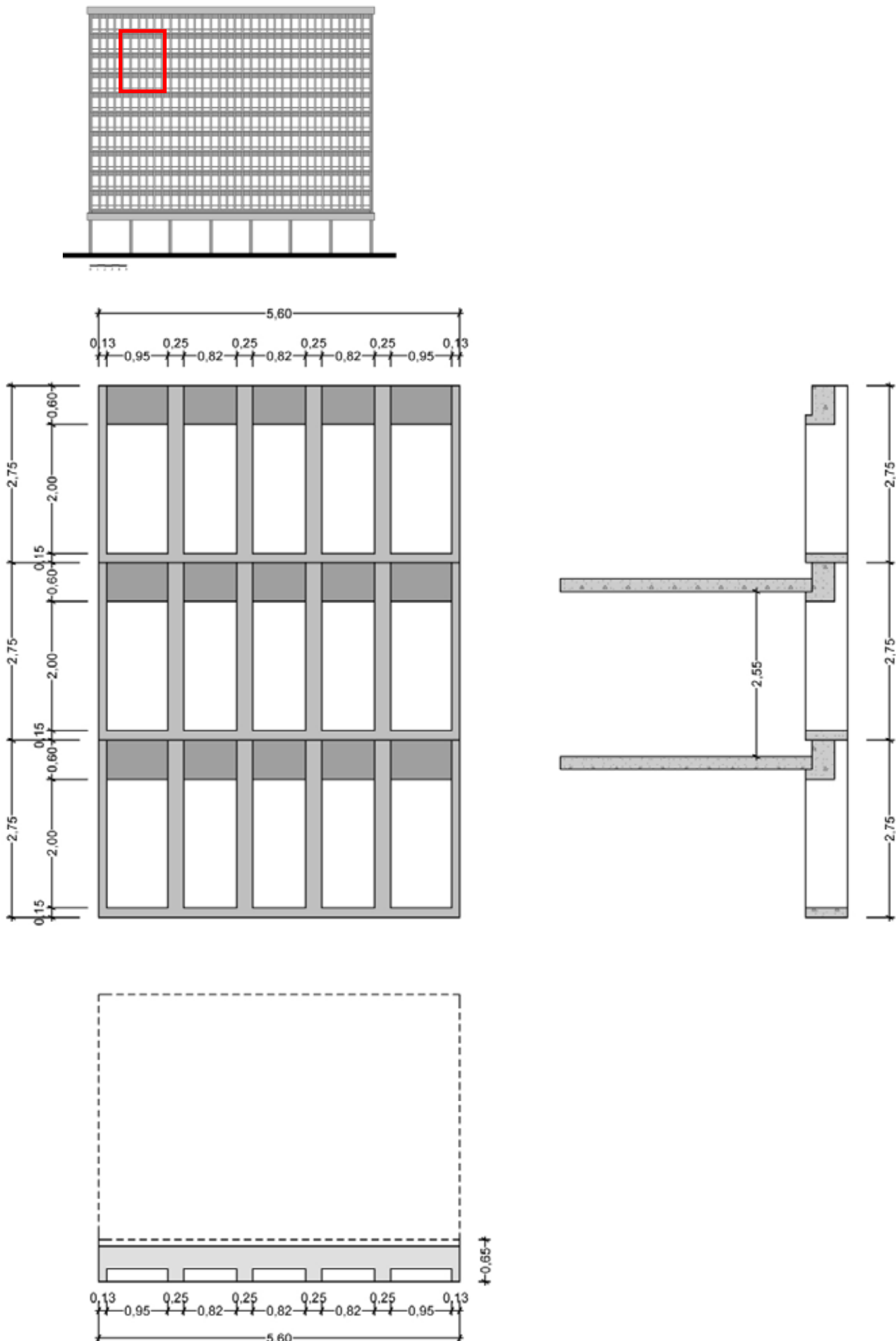


Fig. 72 Detalles del fragmento de la fachada y la unión con la losa del forjado



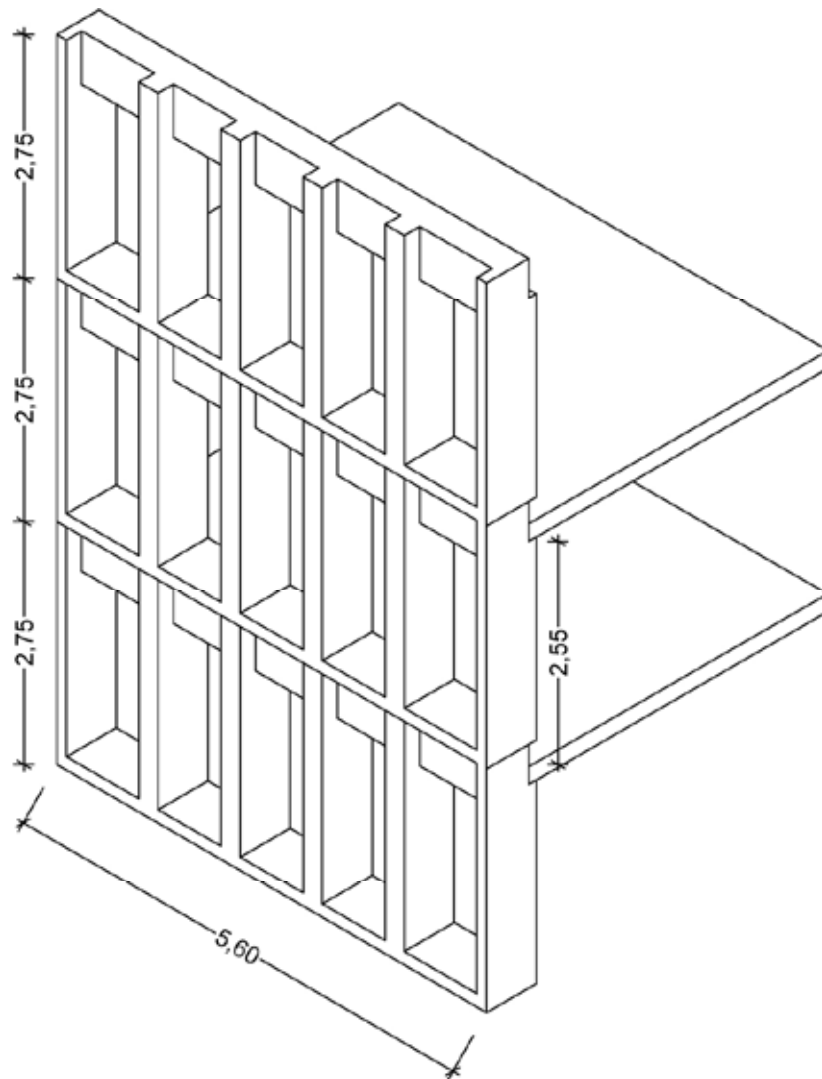


Fig. 73 Detalles del fragmento de la fachada y la unión con la losa del forjado

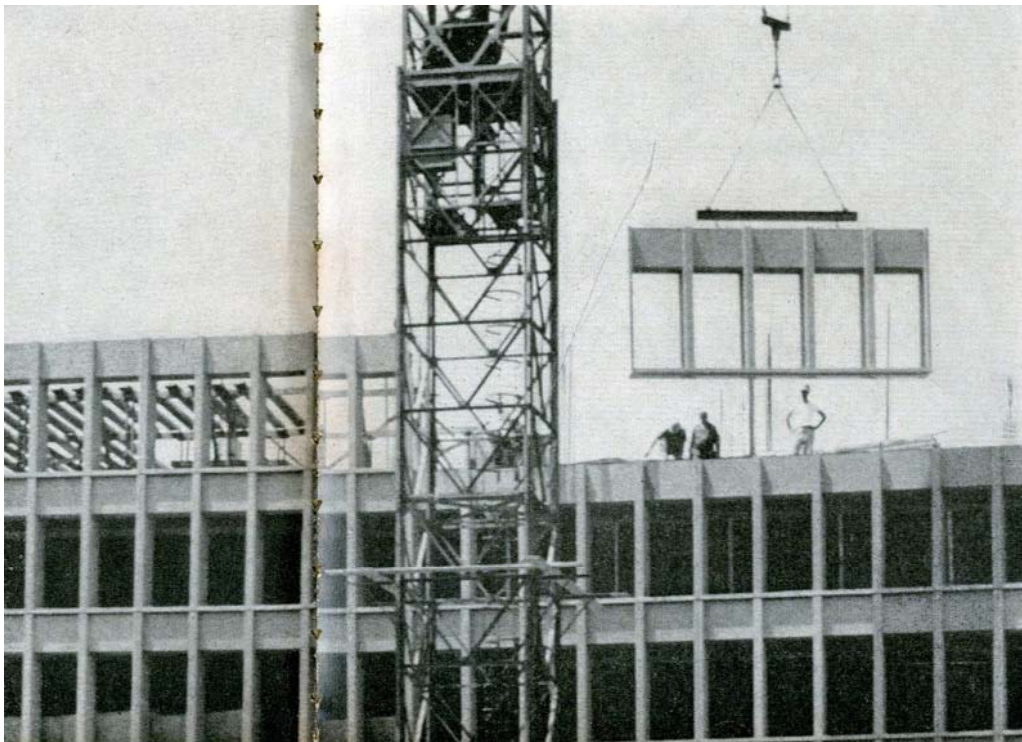


Fig. 74 Montaje de la fachada (Nota 69)

**6.2.3. ACABADOS**

Paneles exteriores portantes	Hormigón lavado.
Pilares de la planta baja	Acabado de acero.
Pavimento de la entrada de la planta baja	Terrazo
Revestimiento interior de las paredes de la entrada en la planta baja	Aplacado de mármol

Fig. 75 Vista del interior de una de las viviendas <sup>71</sup>

<sup>71</sup> [http://www.mihomesrealestate.com/Dearborn/Dearborn\\_Towers\\_Cond/](http://www.mihomesrealestate.com/Dearborn/Dearborn_Towers_Cond/)

## 7. ANÁLISIS. MÓDULOS TRIDIMENSIONALES

### 7.1. CASO DE ESTUDIO 6: HOTEL HILTON PALACIO DEL RÍO, SAN ANTONIO, TEXAS

Arquitecto	H. B. Zachry Corp.
Constructor	H. B. Zachry Corp.
Emplazamiento	San Antonio, Texas
Año de construcción	1967
Sistema constructivo	Núcleo de comunicaciones: Encofrado deslizante  17 de las 21 plantas: módulos tridimensionales de hormigón pretensado
Nº de plantas	21
Coste de construcción	7 500 000 \$

Fig. 76. Vista del edificio en 1970 <sup>72</sup>

Fig. 77. (Nota 72)

#### 7.1.2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El hotel “Hilton Palacio del Rio” , construido en solo 202 días por H.B. Zachry Corp. Tiene altura de 66,14 m y 21 plantas de las cuales las 17 superiores están construidas con módulos tridimensionales de hormigón prefabricado, simplemente apilados uno sobre el otro. El montaje de los módulos de las 17 plantas superiores se llevó a cabo en tan solo 35 días. Las primeras cuatro plantas están construidas con técnicas convencionales de estructura de pilares y jácenas de hormigón armado “*in situ*”. En total cuenta con 496 habitaciones. El hotel se construyó para la exposición mundial HemisFair en Texas en 1968, y la rapidez de la construcción fue esencial en este proyecto, así que la elección de la técnica se basó en que ninguna otra hubiese proporcionado la rapidez, para asegurar la apertura del hotel para la exposición. <sup>73</sup>

<sup>72</sup> <http://www.mysanantonio.com>

<sup>73</sup> FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974, Pag. 423

### 7.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estabilidad estructural del conjunto se consiguió mediante un núcleo rígido central de comunicaciones, incluyendo las escaleras, los ascensores, y dos muros laterales con la correspondiente caja para la escalera de emergencia. Este núcleo fue construido de hormigón armado “*in situ*” a través de la técnica de encofrado deslante.

Las primeras cuatro plantas, como ya se ha mencionando anteriormente se construyeron con técnicas convencionales de pilares y jácenas de hormigón armado “*in situ*”

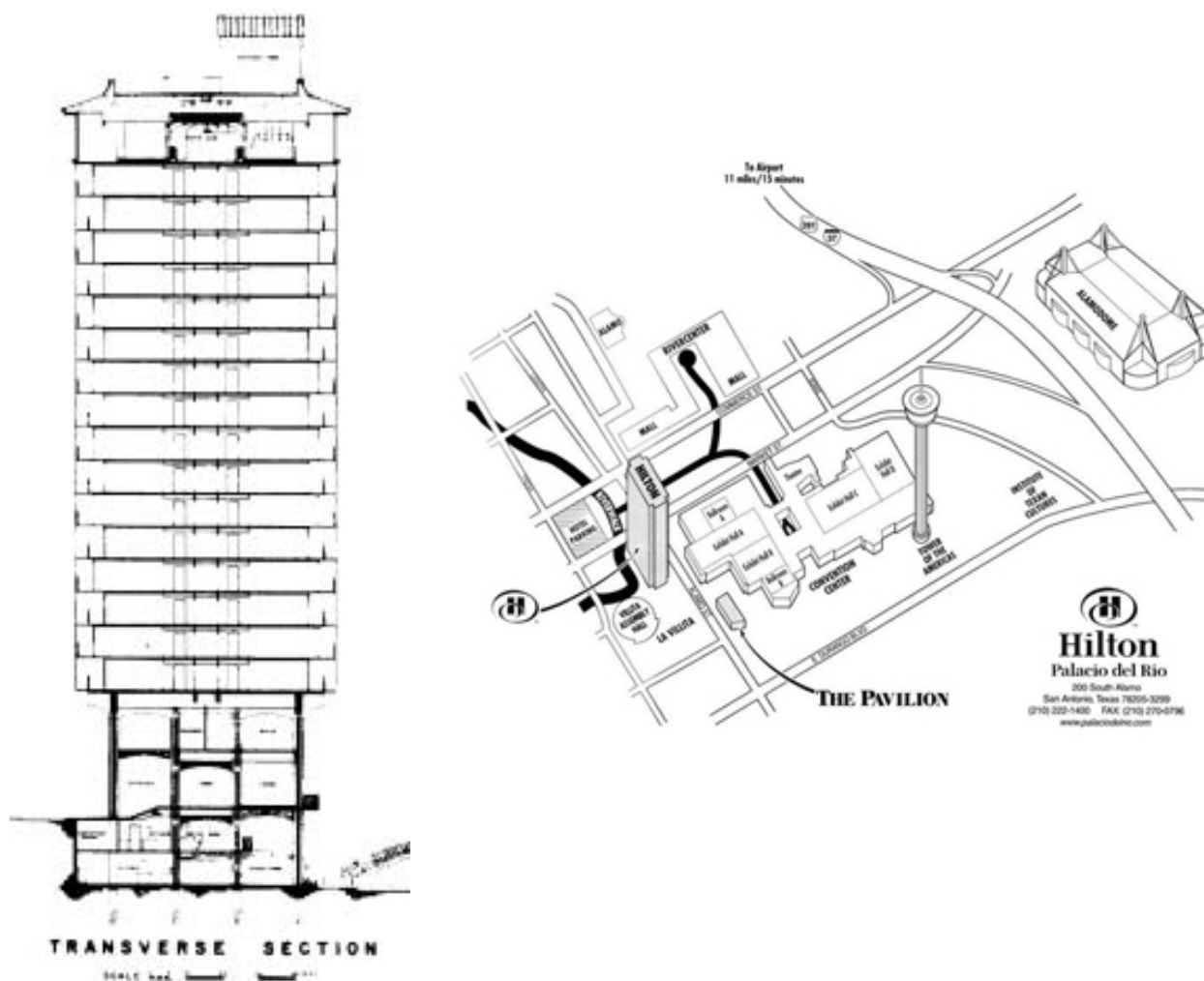


Fig. 78. Sección transversal de los planos originales (Nota 72)

### 7.1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS

Cada módulo es de tamaño de una habitación y tiene una pequeña terraza. Los módulos empleados son de hormigón pretensado de 14 pies (4,25 m) de anchura, 9 pies (2,75 m) de altura y dos diferentes longitudes: de 32 pies (9,75 m) y 29 pies (8,85 m). El peso de estos módulos es de 35 toneladas aproximadamente. El espesor del suelo y de las paredes laterales es de 5 pulgadas (12,7 cm) y el techo es de 4 pulgadas (10,2 cm) de espesor.<sup>74</sup> Los módulos llegaban a la obra desde la fábrica situada en una distancia de 7 millas (11,3 m),

74 Prefabricated Hotel Bedroom Unit. Architectural Design, Marzo de 1968



completamente acabados y equipados, transportados en camiones.

#### 7.1.4.1. PROCESO DE FABRICACIÓN

H.B. Zachry Corp. Estableció una línea de producción que constaba de dos filas por ocho formas de tamaño de una habitación que producían ocho módulos por día en jornadas de 24 horas. Los equipos de trabajo se componían de más de 100 hombres que completaban la tarea designada 496 veces.<sup>75</sup> Para la producción de los módulos se emplearon 8 moldes para el interior, 16 para el exterior y 16 mesas de hormigonado para los suelos (Nota 74).

1. Cada módulo tenía un código que incluía la fecha de la construcción y su posición exacta en el edificio.
2. El proceso del vertido del hormigón en los moldes se iniciaba con el recubrimiento de los moldes exteriores articulados con un producto químico antiadherente para proporcionar una solución en el proceso de desencofrado posterior.
3. En seguida se procedía a la colocación del refuerzo estructural para los pisos.
4. Después se vertía en los moldes la mezcla de hormigón para formar el forjado de espesor de 5 pulgadas (12,7 cm).
5. Después de haber dejado el curado de hormigón durante varias horas se procedía en la colocación del refuerzo estructural para las paredes y el techo. Al mismo tiempo se realizaba la instalación de tuberías, electricidad y encofrados para la carpintería.
6. El paso siguiente constaba en el vertido del hormigón en los moldes, vibrado "*in situ*".

#### 7.1.4.2. PROCESO DE MONTAJE

Una vez los módulos transportados y en el sitio de la obra, se colocaban en el edificio con la ayuda de una grúa de 350 HP, especialmente equipada con un anillo de base de 36 pies (10,97 m) de diámetro.

El montaje se realizó en un ritmo de 22 módulos por día excepto el último día en que se montaron 36 módulos. Para su colocación en el lugar preciso se utilizó un rotor estabilizador acoplado a los medios de elevación (Nota 73).

Debido a que los módulos tenían que coincidir con el hueco del ascensor, cada unidad tenía que coincidir con el módulo inferior a una altura precisa, con la tolerancia máxima de 3/4 de una pulgada (2 cm). Las instalaciones de tubería y electricidad se colocaron a una distancia de 20 pulgadas (50,8 cm) entre los módulos para una conexión rápida a los módulos individuales. Una vez los módulos colocados en su posición final, las barras de refuerzo que se extendían desde el borde al final del corredor de cada módulo, se soldaban entre sí. En seguida se colocaba encofrado debajo de las barras de refuerzo entrelazadas y se vertía el hormigón para formar el forjado del corredor.

<sup>75</sup> <http://www.modular.org>





Fig. 79. Foto del proceso del montaje (Nota 72)



Fig. 80. Foto del proceso del montaje (Nota 72)

## 8. CONCLUSIONES

### 2. HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA VIVIENDA PLURIFAMILIAR

El tema por si es complejo. La sociedad norteamericana en los años de posguerra era todavía la sociedad cuyo sueño era poseer una vivienda unifamiliar y un trozo de tierra. La idea del alquiler y edificios residenciales en altura era algo ajeno en la cultura y la mentalidad de los norteamericanos, de la sociedad económicamente alta hasta la más baja. Desde su inicio tenía pocas probabilidades de éxito.

La política de vivienda y programas gubernamentales tendrán éxito siempre y cuando se tomen las decisiones basadas en la realidad de los ciudadanos en las zonas urbanas. La arquitectura, especialmente cuando se trata de programas públicos, a parte de las grandes ideas y movimientos es sobre todo un acto social. Es como un juego de ajedrez, donde cada movimiento influye y afecta el juego entero. La Arquitectura debe de ser capaz de ver el futuro de los ciudadanos a través de los proyectos. La vivienda pública en los EEUU con los “Superblocks” no logró de ver este futuro. Las medidas drásticas de derribar barrios enteros de las minorías étnicas y pobres con el fin de trasladar la misma población en bloques grandes de vivienda, no resolvió el problema de los “ghetto”. La mayoría de los “Superblocks”, a parte de que eran un lugar peligroso, en muy poco tiempo se deterioraron, por un lado por los materiales de baja calidad empleados y por otro por la incapacidad de sus habitantes de mantenerlos. El gobierno ya desde los años ‘70 hasta el día de hoy sigue derribando estos bloques. Emplea la misma táctica como cuando los construyó, derribando los barrios anteriores. Prácticas poco sostenibles que no garantizan un futuro seguro.

Con el programa gubernamental de la Renovación Urbana se creó una tipología de vivienda plurifamiliar urbanísticamente interesante: “Tower in a Park”. Minimizando la huella de los edificios en los terrenos públicos, estos complejos residenciales hasta el día de hoy permanecen como zonas con más áreas verdes y espacio abierto. Basta hacer un viaje virtual con la herramienta “google earth” a Lower East Side en Manhattan, Nueva York, donde destacan las islas verdes de la vivienda pública de los años ‘60.

La Operación Breakthrough por otro lado fue revolucionaria ya que además de resolver el problema de falta de vivienda, este programa pretendía:

- Demostrar el valor de las técnicas de construcción residencial industrializada.
- Eliminar o reducir las barreras entre la industria y la construcción residencial.

Aunque la operación no demostró el potencial de venta de la mayoría de los métodos constructivos presentados para la vivienda protegida, se lograron cambios importantes en la industria de la vivienda mediante la exposición de nuevos métodos y materiales constructivos explorando la evaluación de la construcción residencial, y se fomentaron cambios en la normativa de construcción. Las conclusiones del gobierno en ese entonces, con respecto a si un programa pudiese funcionar en el futuro se resumen en: la necesidad de trabajo preliminar para el desarrollo de criterios de diseño, evaluación de los enfoques propuestos, análisis del mercado, desarrollo de estrategias viables para superar los problemas de la comercialización, investigación para resolver problemas técnicos y planificación de la evaluación del programa.

### 3. SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS

Dos sesiones especiales de verano en la Universidad de M.I.T. a inicios de la década de los ´70, establecieron un orden en la categorización de los sistemas industriales existentes en los EEUU. Esto fue algo muy positivo ya que no se trató solo de la teoría de la construcción sino que se intentó definir el carácter de la industrialización y el mercado de los edificios residenciales en altura. El mercado de la construcción es algo complejo y estudiar los sistemas basándose en la situación real es la única manera de obtener resultados reales y visiones de futuro. En estas dos sesiones se examinaron los requisitos del desarrollo urbano, los principios del diseño, estándares de rendimiento, el efecto de los códigos y las normativas de la construcción, el volumen de producción, los problemas de la introducción y la evaluación de la innovación, la política gubernamental, mano de obra, módulos de construcción y la organización necesaria para la producción.

### 4. ANÁLISIS. PREFABRICACIÓN “*IN SITU*”- SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS COTA CERO

#### 4.1. SISTEMA CONSTRUCTIVO “TILT- UP”

El sistema prosperó en los años de la primera década de la posguerra, por sus características de resistencia, rapidez y economía de la construcción. El factor de la seguridad, de construir al nivel del terreno en el sitio de la obra, considero que es un punto fuerte de este sistema constructivo. Al principio se empleó para las viviendas unifamiliares o plurifamiliares de pequeña altura, hasta tres plantas. Funcionó como un plan de emergencia, de alojamiento rápido de la población después de la guerra.

En el periodo entre los años ´50 y ´70 este sistema no había evolucionado mucho. Los que lo empleaban eran constructores de pequeñas industrias independientes. El sistema “Tilt-Up” oficialmente no estaba catalogado en ninguno de los sistemas constructivos industrializados. Dada la falta de interés de los arquitectos y el mercado, estos edificios eran escasos y visualmente poco atractivos para los clientes y la industria. A pesar de todo en 1986 se creó el TCA, “Tilt-Up” Concrete Association, con el fin de mejorar la calidad y la aceptación de “Tilt-Up” en la construcción. La asociación existe aun y continua activa hasta el día de hoy, promoviendo el sistema, informando sobre su evolución y organizando concursos para los profesionales y estudiantes. Explorando su página en Internet con los proyectos destacados, se puede observar que los edificios no son de carácter residencial. En la mayoría son edificios de almacenes, comerciales, algunos complejos educativos y hospitalarios.

Con las exploraciones de nuevos acabados, incorporando el ladrillo en el proceso del moldeo, modificando la textura del encofrado, y con la posibilidad de construir paneles de hasta 5 plantas de altura, el mercado para las construcciones “Tilt-Up” en la arquitectura residencial está abriendo sus puertas. Además, como lo asegura Jim Bay, director técnico de TCA, esta técnica tiene un futuro relacionado con los diseños basados en los programas BIM, ya que además de crear todos los paneles con detalles, se pueden realizar las asimilaciones del izado de los paneles para optimizar la eficiencia.

En el proyecto Evie Garret Dennis Campus en Denver, el proyecto se realizó con el programa REVIT. Un ejemplo más de vivienda de estudiantes en FAU, Universidad de Florida, construido en 2010 por Jhonson Structural Group y Woodland Construction, demuestra la posibilidad de combinar el sistema con otros sistemas especiales de construcción. La estructura del edificio se realizó con la técnica de encofrado Tunel y los paneles de fachada portante, con el sistema “Tilt-Up” de 5 plantas de altura.

Aunque “Tilt-Up” como sistema constructivo empezó a emplearse desde hace 60 años, creo que aún es una técnica emergente que recién ahora se están explorando todas sus posibilidades, y que tiene un potencial de ser una de las técnicas constructivas para la arquitectura residencial en altura.

#### **4.2. SISTEMA CONSTRUCTIVO “LIFT- SLAB”**

El sistema “Lift-Slab” se inventó y prosperó en los EEUU en las décadas de los años ´60 y ´70. Varios colapsos progresivos de edificios construidos con esta técnica, siendo el peor desastre el caso del edificio L’ambiance Plaza en 1987 en Connecticut, condujeron al fin del “Lift- Slab”. Este sistema fue estigmatizado como inestable e ineficiente. Sin embargo, después de analizar varios edificios colapsados, los resultados mostraron la ineficiencia debido a la falla provocada en el sitio de la obra y no del sistema en sí.

Los edificios construidos a través de este sistema son más inestables durante la construcción que la mayoría de otros sistemas constructivos, así que es necesaria mano de obra calificada y un trabajo en equipo entre los diseñadores y los constructores durante todo el proceso de la obra. Ejemplo analizado en el capítulo 4, Huron Towers, demuestra que 50 años después el edificio sigue en buen estado. Hoy en los EEUU he logrado localizar solamente una empresa constructora que todavía emplea este sistema: Texstar Construction Corporation, en San Antonio, Texas. El sistema “Lift-Slab” creo tenía muchas más ventajas que inconvenientes: La seguridad de la ejecución de los forjados al nivel del terreno, la versatilidad de la distribución de los espacios interiores y la eliminación de encofrados entre otras. Los colapsos progresivos deberían haber servido como un ejemplo para analizar la falta y conducir mejoras del sistema y no a estigmatizarlo. Tal como en el caso del sistema “Tilt-Up”, creo que “Lift-Slab” podría servir como un ejemplo de edificios diseñados con los programas BIM. Utilizando las asimilaciones y análisis estructural se podría lograr una mejora en la seguridad de la ejecución del sistema.

#### **5. ANÁLISIS. PREFABRICACIÓN “*IN SITU*” - TÉCNICA DE ENCOFRADO DESLIZANTE**

La construcción de los núcleos de comunicaciones en los edificios residenciales en altura en los EEUU, además de ser un método de construcción rápido, llevó a una exploración y evolución de los sistemas de encofrados horizontales para la construcción de los forjados. Esto se ve claramente en los ejemplos analizados en este trabajo. En el ejemplo de los apartamentos en Bay Way, los forjados se resolvieron con las vigas prefabricadas, mientras que en el ejemplo de Sheridan building se usaron encofrados de acero telescópicos. Estos encofrados telescópicos existen hasta el día de hoy en el mercado de la construcción en los EEUU y su evolución son las plataformas. La evolución en los sistemas de encofrados especiales parece que conduce cada vez más a las formas más completas y con menos trabajo de montaje en el sitio de la obra. Además es interesante observar como se pueden combinar las técnicas de construcción especiales con los módulos tridimensionales, como en el ejemplo del hotel Palacio del Río en San Antonio.

#### **6. ANÁLISIS. CONSTRUCCIÓN CON COMPONENTES PREFABRICADOS**

De los ejemplos analizados se puede observar el avance de la industria de hormigón prefabricado en la construcción de los EEUU., por el aprovechamiento del potencial estructural del material como muros portantes y fachadas resistentes. La aplicación del hormigón prefabricado no se limitó solo en el uso de paneles

no portantes en las fachadas de los edificios residenciales. En ambos casos analizados se puede observar la flexibilidad y versatilidad de la planta tipo.

### 7. ANÁLISIS. MÓDULOS TRIDIMENSIONALES

El único ejemplo analizado en este trabajo con un carácter residencial distinto, de hotel, es el ejemplo del edificio Palacio del Río en san Antonio de Texas. La técnica de módulos prefabricados fue elegida por la rapidez de la construcción que no se podría haber conseguido a través de ninguna otra técnica. Los módulos tridimensionales que hoy en día en el mundo de la arquitectura y construcción se suelen presentar como una idea nueva surgieron en los años '60 y '70, con unos ejemplos emblemáticos, como la torre Nagakin en Japón. El problema de estos módulos en la arquitectura residencial es que no son versátiles, dependen de las limitaciones de tamaño y peso por los medios de transporte y elevación.

### CONCLUSIONES GENERALES

Como se puede ver de la tabla de la cronología de la vivienda pública, en el capítulo 2, la demolición del complejo residencial Pruitt-Igoe en 1974 resultó el fin de la construcción de la vivienda pública en altura. Por esta razón es que todos los ejemplos analizados son entre la década de los años '60 y '70. Esto tenía un impacto directo en la construcción residencial industrializada, porque como ya lo hemos visto anteriormente, este tipo de construcción fue promovida por el gobierno. Hoy en los EEUU, parece que se ha creado otra vez este vacío entre el cambio de la escala, de los edificios de pequeña altura y los rascacielos. Los edificios residenciales plurifamiliares que se construyen hoy en los centros urbanos son del tamaño de los apartamentos "Garden Apartments", de 3-5 plantas de altura, y por otra parte los rascacielos. Lo que me queda de este trabajo es la visión de los años '60 y '70, una visión de la construcción en la que todo parecía posible; donde la arquitectura era el protagonista y los sistemas constructivos evolucionaban impuestos por las exigencias del diseño.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

- ÁGUILA GARCÍA, Alfonso del, “Las Tecnologías de la Industrialización de los Edificios de Vivienda” , Madrid : Colegio Oficial de Arquitectos, 1986
- BENDER, Richard, “Una Visión de la Construcción Industrializada”, Barcelona Gustavo Gili, 1976
- BERGDOLL, Barry , “Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling”, The MOMA, New York, 2008
- BERNDT, K., “Prefabricación de Viviendas en Hormigón”, Madrid ; Barcelona : Blume, 1970
- BLACHÈRE, Gérard , “Tecnologías de la Construcción Industrializada”, Barcelona : Gustavo Gili, 1977
- BONDY, Ken, “Post- Tensioned Concrete in Buildings ,A 40+ Year Overview”, ACI Fall Convention, San Francisco, 2004
- DAVIES, Colin, “The Prefabricated Home” , London Reaktion, 2005
- DIAMANT, R.M.E., “Industrialised Building: 50 International Methods”, London: Liffé Books, 1964
- DIAMANT, R.M.E., “Industrialised Building 3: 70 International Methods”, London: Liffé Books, 1968
- DIETZ, Albertt G.H. “Industrialized Building Systems for Housing” , Cambridge (Massachusetts) : The MIT Press, 1971
- “Estructuras de Edificación Prefabricadas” / FIP, Madrid : ATEP, 1996
- FERNANDEZ ORDÓÑEZ, Francisco, “Prefabricación- Teoría y Práctica Vol. 2”, Industrialización de la Construcción en USA, Barcelona ETA, 1974
- HANNA, Awad S., “Concrete Formwork Systems”, New York ; Basel : Marcel Dekker, 1999
- KONCZ, Tihamér , “Manual de la Construcción Prefabricada : Con Elementos de Hormigón Armado y Pretensado, Cálculo y Ejecución de las Obras”, Madrid : Blume, 1978
- MORRIS, A. E. J., “Precast Concrete in Architecture”, New York : Watson-Guptill, 1978
- OLIVERI, G. Mario , “Prefabricación o Metaproyecto Constructivo” , Barcelona : Gustavo Gili, 1972
- ZALEN, Rubin M. , PERAZA, David B., “Engineering Considerations for Lift-Slab Construction”, ASCE, 2004

## REVISTAS

- “Architectural Renaissance in FHA Apartment Housing”, Architectural Record, octubre de 1960. Pág. 198- 201
- “Lift Slab for Suburban Towers”, Architectural Record, octubre de 1960. Pág. 206- 207
- “Criteria for Urban Renewal”, Architectural Record, Mayo de 1962, Pág. 155- 158
- “New Techniques Enhance Slipform Potential”, Architectural Record, Agosto de 1964, Pág. 157- 158
- “Precast Loadbearing Exterior Wall”, Architectural Record, Agosto de 1964, Pág. 160- 161
- “Building Type Study 328, Apartments”, Architectural Record, Octubre de 1975, Pág. 143- 147
- “Building Type Study 507 Housing”, Architectural Record, Septiembre de 1977, Pág. 111- 114
- “Prefabricated Hotel Bedroom Unit”, Architectural Design, Marzo de 1968
- YOUTZ, Philip N. “Lifting Huron Towers”, Journal of the American Concrete Institute, Junio 1960. Pág. 1537- 1548
- FISHER, Howard T. , “Prefabrication. What Does It Mean to the Architect?”, Journal of The American Institute of Architects, (November 1948), p. 220.

## TESIS DOCTORALES

- HERMO SÁNCHEZ, Victor Manuel, Tesis doctoral: “Sistema Constructivo Industrializado in Situ COTaCERO”, 2011

## PÁGINAS INTERNET

- <http://archive.gao.gov/f0902a/100544.pdf>
- U.S. Bureau of the Census, <http://www.census.gov/>
- [www.hud.gov/](http://www.hud.gov/)
- <http://news.blogs.nytimes.com>
- <http://urbanomnibus.net/2010/08/studio-report-reimagining-towers-in-the-park/>
- Allan R. Kenney, P.E., Sidney Freedman, Architectural Concrete, Pg. 4 [http://ardiansyahnegara.files.wordpress.com/2010/01/ch30\\_architectural-concrete.pdf](http://ardiansyahnegara.files.wordpress.com/2010/01/ch30_architectural-concrete.pdf)
- STEIGER, Richard W., Tilt-up concrete houses- yesterday and today, The Aberden Group, Publication #C930564, 1993, [www.concreteconstruction.net/](http://www.concreteconstruction.net/)

- <http://www.imcyc.com/revista/2000/tiltup.html>
- <http://www.tiltup.com>
- <http://www.zartman.com>
- Tilt-up Construction: History and Uses. <http://www.concretecontractor.com/tilt-up-concrete/construction-history/>
- <http://www.freepatentsonline.com/2686420.pdf>
- <http://www.freepatentsonline.com/4832315.html>
- <http://www.freepatentsonline.com/3594965.html>
- <http://www.freepatentsonline.com/3974618.pdf>
- [http://www.edytesa.es/recursos/doc/Area\\_descarga/Documentacion\\_Tecnica/3614\\_306306201010110.pdf](http://www.edytesa.es/recursos/doc/Area_descarga/Documentacion_Tecnica/3614_306306201010110.pdf)
- <https://www.eupc.uclm.es>
- TAYLOR, P.E., Thomas W. "Slipformed Core Construction", <http://es.scribd.com/doc/46649983/Slipform-Core>
- <http://bayviewcompass.com/archives/874>
- [http://www.mihomesrealestate.com/Dearborn/Dearborn\\_Towers\\_Cond/](http://www.mihomesrealestate.com/Dearborn/Dearborn_Towers_Cond/)
- <http://www.modular.org>
- Operation Breakthrough: Lessons Learned about Demonstrating New Technology, <http://www.gao.gov/products/PSAD-76-173>